

# **ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA EM UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA**

**MARCOS FIGUEIREDO SALVIANO**

**Orientador: Cesar Augusto Pompêo**

**2012/1**



**Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC**

**Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**



Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC  
Centro Tecnológico - CTC  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental - ENS

**ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DE UM  
SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA EM UMA  
INDÚSTRIA METALÚRGICA**

Trabalho apresentado à Universidade Federal  
de Santa Catarina para Conclusão do Curso de  
Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental.

**MARCOS FIGUEIREDO SALVIANO**

Orientador: Cesar Augusto Pompêo

FLORIANÓPOLIS (SC), JULHO/2012



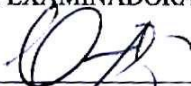
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC  
Centro Tecnológico - CTC  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental - ENS

**ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DE UM  
SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA EM UMA  
INDÚSTRIA METALÚRGICA**

Marcos Figueiredo Salviano

Trabalho submetido à Banca examinadora como parte  
dos requisitos para a Conclusão do Curso de Graduação  
em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II

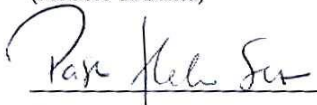
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. César Augusto Pompêo (Orientador)



Prof. Dra. Alexandra Rodrigues Finotti  
(Membro da Banca)



Prof. Dr. Pablo Heleno Sezerino (Membro da  
Banca)

FLORIANÓPOLIS (SC), JULHO/2012



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Adriana e Clenio, por tudo que proporcionaram na minha vida, nunca medindo esforços para me ajudar não importando a situação ou à distância.

A todos outros familiares, em especial o meu irmão Daniel por todo companheirismo ao longo dos anos em que crescemos juntos.

Agradeço o meu orientador, Profº Cesar Augusto Pompêo, por todo o conhecimento, competência, paciência e simpatia ao longo dos últimos anos da graduação.

A todos os meus amigos de infância de Campinas por proporcionarem tantos momentos de diversão e amizade.

Aos meus amigos de Santa Catarina por me acolherem e proporcionarem tantos momentos hilários e inesquecíveis.

A Eng. Schirlene Chegatti e Eng. Tatiane Cristina da Silva, por possibilitarem a experiência de estagiar em uma grande empresa.





## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal a elaboração de uma análise custo-benefício da implantação de um sistema piloto de captação de água da chuva para utilização em torres de resfriamento da empresa metalúrgica. A alta demanda das torres de resfriamento incentivou a empresa a buscar fontes alternativas de captação de água. Foi feito um acompanhamento das etapas do projeto com uma equipe de engenheiros. Para a elaboração do trabalho foi realizado uma caracterização pluviométrica do município de Joinville-SC e um detalhamento das partes constituintes do sistema piloto. A partir do projeto preliminar foram levantados os custos para instalação e operação de todo o sistema. O benefício financeiro foi calculado a partir dos volumes captados. Os resultados obtidos revelaram que 1 ano após a sua implantação, o sistema piloto gerará um lucro para empresa e que o custo de manutenção mensal é inferior ao benefício financeiro gerado no mesmo período. Para a execução do projeto piloto será necessário rever a forma de armazenamento. Também foi constatado que os outros setores da empresa possuem um grande potencial de aproveitamento da água de chuva.

**PALAVRAS CHAVE:** Aproveitamento da Água de Chuva, Torres de Resfriamento, Análise Custo-Benefício.



## **ABSTRACT**

This work has as main objective the development of a cost-benefit analysis of implementing a pilot system to capture rainwater for use in cooling towers of a metallurgical company. The high demand of cooling towers has encouraged the company to seek alternative sources of water uptake. The project steps were followed with a team of engineers. To achieve the results, a characterization of rainfall in the city of Joinville-SC and a breakdown of the constituent parts of the pilot system allow. From the preliminary design were raised costs for installation and operation of the entire system. The financial benefit was calculated from the volumes taken. The results revealed that one year after its implementation, the pilot system will generate a profit for the company and the monthly maintenance cost is lower than the financial benefit generated in the same period. To implement the pilot project will be necessary to revise the form of storage. It was also noted that other sectors of the company have a great potential for use of rainwater.

**KEYWORDS:** Rain Water Harvesting, Cooling Towers, Cost-Benefit Analysis.



## SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	16
ÍNDICE DE TABELAS.....	17
1. Introdução.....	19
2. Objetivos.....	21
2.1.    Objetivo Geral .....	21
2.2.    Objetivos Específicos .....	21
3. Revisão Bibliográfica .....	22
3.1.    Concepção de um sistema de aproveitamento de água de chuva	22
3.1.1.    Área de captação .....	22
3.1.2.    Remoção de Sólidos Grosseiros .....	23
3.1.3.    Calhas e condutores verticais .....	24
3.1.4.    Descarte da primeira água de chuva .....	24
3.1.5.    Tratamento.....	25
3.1.6.    Armazenamento.....	26
3.1.7.    Qualidade da água de chuva .....	27
3.2.    Uso da água em sistema industrial de resfriamento .....	29
3.2.1.    Funcionamento das Torres de Resfriamento .....	29
3.2.2.    Problemas em Torres de Resfriamento relacionados à água.....	31
3.2.3.    Padrão de qualidade da água para utilização em Torres de Resfriamento .....	34

4.	ÁREA DE ESTUDO .....	36
4.1.	Caracterização do município de Joinville.....	36
4.2.	Caracterização da empresa Schulz S.A.....	37
5.	metodologia .....	39
5.1.	Sistema piloto de captação de água da chuva .....	39
5.1.1.	Concepção do projeto .....	39
5.1.2.	Torres de Resfriamento.....	39
5.1.3.	Qualidade da água.....	40
5.2.	Estudos Pluviométricos .....	40
5.2.1	Série histórica de precipitação .....	40
5.2.2.	Estudo das chuvas intensas e dimensionamento de calhas e condutos verticais .....	43
5.2.3.	Análise estatística dos períodos secos e chuvosos.....	46
5.3.	Análise do custo-benefício.....	47
5.3.1.	Obtenção dos custos .....	48
5.3.2	Obtenção dos benefícios .....	49
5.4.	Potencial da Schulz S.A. ....	50
6.	resultados e discussões.....	51
6.1.	Torres de Resfriamento na Schulz S.A.....	51
6.2.	Projeto Piloto de Captação de Água de Chuva.....	53
6.2.1.	Concepção do projeto .....	53
6.2.2.	Área de captação do projeto piloto .....	54
6.2.3.	Grades e dispositivos de descarte .....	56
6.2.4.	Dimensionamento preliminar de calhas e condutos verticais do sistema de captação de água de chuva .....	57
6.2.5.	Armazenamento e bombeamento da água .....	58

6.2.6.	Avaliação da qualidade da água .....	60
6.3.	Custos do projeto piloto .....	61
6.3.1.	Custos iniciais.....	62
6.3.2.	Custos de manutenção .....	62
6.4.	Cálculo dos benefícios.....	65
6.4.1.	Cálculo do volume captado .....	65
6.4.2.	Valores financeiros equivalentes .....	66
6.5.	Análise do custo-benefício do projeto piloto.....	66
6.6.	Análise do potencial da empresa para captação de água de chuva.....	67
6.6.1.	Caracterização da área de captação total da empresa	68
6.6.2.	Demanda anual de água da Schulz .....	68
6.6.3.	Análise da estrutura existente.....	70
6.6.4.	Volumes captados.....	70
6.6.5	Análise preliminar do custo-benefício da implantação de um projeto de aproveitamento de água de chuva na Schulz S.A. ....	71
6.7.	Análise de períodos diários secos e chuvosos .....	73
7.	Conclusão .....	76
8.	Referências Bibliográficas.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Grade instalada nas calhas. ....	23
Figura 2 - Sistema mais simples de descarte a primeira água de chuva.....	25
Figura 4 - Funcionamento de uma Torre de Resfriamento de circuito semi-aberto. ....	30
Figura 4 - Incrustações de carbonato de cálcio em um condensador. ....	32
Figura 5 - Exemplos de superfícies de peças e tubulações danificadas por corrosão.. ....	33
Figura 6 - Acúmulo de matéria orgânica no interior de tubos. ....	34
Figura 7 - Localização do município de Joinville no estado de Santa Catarina.....	36
Figura 8 - Imagem de satélite da empresa Schulz S.A com as áreas produtivas identificadas.....	38
Figura 9 - Informações da estação de Pirabeiraba. ....	41
Figura 10 - Fotografia de Torres de Resfriamento da Schulz.....	52
Figura 11 - Fluxograma do projeto.....	53
Figura 12 - Reservatórios de 5m <sup>3</sup> que abastecem as torres de resfriamento. ....	54
Figura 13 - Fotografia do prédio que será utilizado para captação...55	
Figura 14 - Dispositivo de retenção de sólidos grosseiros.....	56
Figura 15 - Dispositivo de descarte da água inicial indicado. ....	57
Figura 16 - Fotografia do poço 04.....	59
Figura 17 - Modelo da Bomba S-Sub 22-2.....	60
Figura 18 - Dimensões dos poços 04 e 05.....	60



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Padrão de qualidade para fins não potáveis..	29
Tabela 2 - Padrão de qualidade para Torres de Resfriamento.....	34
Tabela 3 - Padrão de qualidade da água sugerido..	34
Tabela 4 - Precipitações totais anuais (1988-2004 e 2009-2010).....	42
Tabela 5 - Precipitações médias mensais (1988-2004 e 2009-2010). .....	42
Tabela 6– Parâmetros para equação de chuvas intensas de Joinville. .....	44
Tabela 7- Coeficientes de rugosidade. ....	45
Tabela 8 - Diâmetros para condutos verticais. ....	46
Tabela 9 - Coeficiente de escoamento para cada tipo de superfície..	55
Tabela 10 - Diâmetros nominais (mm) para combinações de material e declividade.....	58
Tabela 11 - Comparação da qualidade da água da chuva com a água de abastecimento .....	61
Tabela 12 - Custos iniciais da implantação do sistema. ....	62
Tabela 13 - Tempo de operação de cada bomba. ....	63
Tabela 14 - Custo mensal com energia elétrica utilizada pelas bombas. ....	64
Tabela 15–Custo com a manutenção do sistema piloto.....	64
Tabela 16 - Custos mensais com a manutenção do sistema piloto...	65
Tabela 17 - Volume captado no telhado do Refratário.....	65
Tabela 18 - Valores financeiros equivalentes do volume captado de água. ....	66
Tabela 19 - Saldo em cada mês devido ao projeto-piloto. ....	67
Tabela 20 - Áreas superficiais das coberturas da Schulz S.A. Fonte: Schulz (2012) .....	68
Tabela 21 - Consumo de água na Schulz S.A. Fonte Schulz (2012)	69
Tabela 22 - Potenciais Volumes captados nas coberturas da Schulz S.A.....	70
Tabela 23 - Valor equivalente do volume captado utilizando-se todas as áreas cobertas da Schulz S.A. ....	72

Tabela 24 - Probabilidade para  $k$  dias secos consecutivos.....73

Tabela 25 - Probabilidade de  $k$  dias chuvosos consecutivos. ....74

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Precipitação média mensal ..... 43

## 1. INTRODUÇÃO

A revolução industrial no século XVIII, ocorrida na Europa, iniciou uma fase de intensa industrialização e urbanização das cidades. Como consequência positiva, os avanços tecnológicos possibilitaram o desenvolvimento de novos produtos além de aumentar a velocidade de produção. Entretanto, o aumento da população nos centros urbanos, que nas últimas décadas tornou-se mais acentuada, causou diversos problemas de infra-estrutura. O suprimento de alimentos e fontes energéticas atingiu um limite, desafiando a sociedade a buscar métodos de alinhar o desenvolvimento tecnológico com a sustentabilidade.

Entre os recursos naturais, a escassez de água potável é a que mais preocupa a população. A necessidade de conservação da água forçou os governos a desenvolverem planos para melhor gerenciar o uso da água, minimizando os desperdícios e reduzindo o consumo. Estas ações implicam em soluções como a medição individualizada, a diminuição das perdas no sistema e o uso de fontes alternativas, como por exemplo, aproveitamento de água de chuva (PETERS, 2006).

Um das fontes alternativas de uso da água de maior destaque é a água de chuva. O ser humano sempre usufruiu da água de chuva, utilizando-a, por exemplo, para irrigação, consumo próprio e higiene. No entanto, com o aumento na demanda tornou-se necessário um sistema que aproveitasse ainda melhor a água de chuva. A água coletada da chuva não é potável porque poluentes presentes na atmosfera e principalmente contaminantes na superfície de captação, tornam a água pluvial imprópria para o consumo humano. Entretanto, esta água pode ser utilizada para fins que não demandam uma qualidade de água alta, como por exemplo, a utilização em vasos sanitários, lavagem de pisos, lavagem de máquinas, jardinagem, entre outras.

Entre os possíveis locais para a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva, provavelmente as indústrias possuem o maior potencial. Grandes áreas de cobertura possibilitam a captação de maiores volumes de água. Além disso, existe um consumo de água muito alto em atividades que não demandam uma qualidade de água muito elevada, evitando a instalação e operação de sistemas muito elaborados de tratamento de água.

Para que a instalação de um sistema de captação de água de chuva em uma indústria se concretize, é indispensável um retorno financeiro. Por isso, a importância da elaboração de um estudo que

contemple todos os aspectos de um projeto para identificar os benefícios de um sistema de aproveitamento de água de chuva.

Para que o projeto de um sistema de captação de água pluvial seja coerente com a realidade e possa concluir sobre os benefícios da instalação é fundamental a obtenção de dados precisos. São fundamentais um estudo hidrológico da região, uma análise da qualidade da água, cálculo e caracterização (coeficiente de deflúvio, topografia, material) da área de captação, análise da estrutura existente, além da escolha dos tipos de tratamento e armazenamento da água pluvial. A estimativa dos custos e dos benefícios gerados pelo sistema é o resultado obtido a partir destas informações.

O presente trabalho é realizado através do acompanhamento da implantação de um sistema piloto de captação de água de chuva em uma indústria de grande porte do ramo metal-mecânica, localizada no município de Joinville no norte do Estado de Santa Catarina. A água aproveitada da chuva será utilizada nas Torres de Resfriamento da fundição da fábrica.

Em muitos processos industriais, há a necessidade de remover carga térmica de um dado sistema, utilizando-se um fluido para a dissipação do calor. O fluido mais utilizado para dissipar o calor gerado é a água, devido a suas características físicas (alto calor específico, baixa viscosidade, alta condutibilidade térmica e alta densidade), além da facilidade de obtenção (MANCUSO, 2001).

Devido à crescente escassez da água e preocupação com o meio ambiente, além de motivos econômicos, a água quente que sai do sistema de resfriamento deve ser reaproveitada. Para isso, ela passa por equipamento que a resfria, em geral uma torre chamada Torre de Resfriamento, retornando ao circuito de resfriamento.

O trabalho analisa a economia gerada pela execução do projeto piloto de captação da água de chuva para as Torres de Resfriamento, de acordo com os volumes captados. Também será realizada uma avaliação do potencial que a empresa possui para captação de água de chuva, concluindo sobre os benefícios de possíveis projetos de captação de água pluvial. O sucesso do projeto piloto de captação de água da chuva poderá ser o ponto de partida para que outros projetos semelhantes ocorram na empresa, contribuindo para a gestão do meio ambiente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Analisar a relação custo-benefício da implantação de um sistema piloto de captação de água de chuva para um processo de resfriamento em uma indústria metalúrgica em Joinville/SC.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Analisar a necessidade de tratamento para utilização da água da chuva no sistema piloto de resfriamento dos fornos de fundição;
- Analisar custos e benefícios gerados pela implantação do sistema piloto;
- Levantar o potencial e as condições de captação de água de chuva para o restante da empresa.
- Realizar uma análise estatística de dias secos e chuvosos da região.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Conceção de um sistema de aproveitamento de água de chuva**

O sistema de aproveitamento da água da chuva é considerado um sistema descentralizado de suprimento de água, cujo objetivo é de conservar os recursos hídricos, reduzindo o consumo de água potável (KOENIG, 2003). Esses sistemas captam a água da chuva que cai sobre superfícies, direcionando-as a reservatórios de armazenamento para posterior utilização.

No Brasil a construção de sistemas de catação de água de chuva é normatizada pelas normas NBR 15.525 (ABNT, 1989) e NBR 15.527 (ABNT, 2007) para fins potáveis e não potáveis, respectivamente.

##### **3.1.1. Área de captação**

A área de captação é aquela onde ocorre toda a coleta da água da chuva que será utilizada. Ela é considerada o ponto inicial do dimensionamento, pois é a partir de suas características (dimensão, material, inclinação) que será determinada a quantidade de água de chuva que poderá ser captada.

A superfície mais frequentemente utilizada para a captação de água da chuva são os telhados por apresentarem melhores condições visto que áreas sobre a superfície do solo, como ruas e calçadas, sofrem a influência direta do tráfego de pessoas e veículos. Outra vantagem da captação em telhados é a possibilidade da água chegar ao reservatório de armazenamento por gravidade, o que facilita o projeto.

A superfície dos telhados de captação de água da chuva pode ser constituída de diversos tipos de materiais, como telha cerâmica, plástico, zinco entre outros. A composição do material do telhado é importante para a definição do coeficiente de escoamento superficial, que determina a fração de água que se transformará em escoamento superficial. O material do telhado também é importante para evitar a contaminação da água devido a componentes tóxicos que possam ser lixiviados durante a precipitação. (Hagemann, 2009).

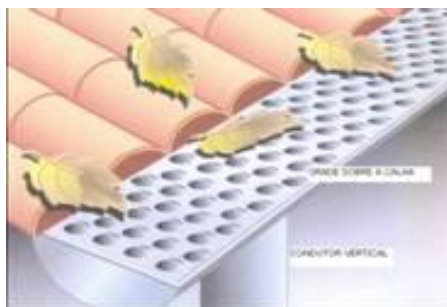
Telhados mais porosos diminuem o escoamento, reduzindo assim o volume aproveitável da água da chuva. Conforme o Texas Water Development Board (2005), o uso de telhados metálicos como alumínio e zinco diminui as perdas, enquanto que telhados cerâmicos proporcionam uma maior absorção da água e consequentemente uma

maior perda de captação. Em alguns lugares do mundo é comum a cobertura do telhado com uma camada de tinta para diminuir a porosidade da superfície e aumentar a captação. Neste caso, deve-se ter o cuidado de escolher uma pintura especial, que não libere substâncias tóxicas quando em contato com a água.

### 3.1.2. Remoção de Sólidos Grosseiros

Em qualquer sistema de captação de água de chuva é necessário um dispositivo para a retenção de sólidos grosseiros. É comum em telhados, a presença de sólidos como folhas, gravetos e dejetos de animais. Ao acumularem no interior do reservatório final, estes materiais orgânicos podem sofrer decomposição, afetando a qualidade da água que será consumida. Além disso, os sólidos grosseiros, caso não sejam removidos, podem obstruir os dispositivos de transporte da água, prejudicando a eficiência de captação (ANECCHINI, 2005).

Os dispositivos utilizados para a retenção dos sólidos grosseiros são grades e filtros (Figura 1). O projetista deverá dimensionar os dispositivos de acordo com as características do clima e da vegetação local. Entre os materiais mais utilizados estão tela de arame, nylon, PVC e aço galvanizado. Também é comum o uso de filtros pra a retenção e descarte de materiais.



**Figura 1 - Grade instalada nas calhas. Fonte: Peters (2006)**

Os dispositivos de retenção de materiais grosseiros, assim como os telhados e calhas, devem ser periodicamente limpos para serem eficazes. A NBR 15527/07 recomenda inspeção mensal e limpeza trimestral para esses componentes. Se não for feita a manutenção, as grades e filtros podem obstruir ou impedir a entrada da água nos condutores e sua chegada ao reservatório.

### **3.1.3. Calhas e condutores verticais**

As calhas e condutores verticais são responsáveis por conduzir a água precipitada na superfície de captação até o dispositivo de descarte da primeira chuva (HAGEMANN, 2009).

De acordo com Texas Water Development Board (2005), o cobre não pode ser utilizado como material da tubulação em sistemas de fins potáveis, pois em alguns casos a acidez da chuva poderá dissolver o metal e contaminar a água. Os materiais mais utilizados para calhas e condutores verticais são o PVC (poli cloreto vinila), alumínio e ferro galvanizado.

Independentemente do material escolhido, as dimensões físicas das calhas devem ser dimensionadas, segundo a NBR 15527/07, de acordo com o tempo de retorno, vazão de projeto e intensidade pluviométrica da região.

As calhas e condutores verticais devem ser periodicamente inspecionados e limpos. A NBR 15527/07 recomenda que a limpeza desses dispositivos seja realizada pelo menos uma vez por semestre. Uma boa época para inspecionar estes componentes é durante um período chuvoso, pois nesta situação é fácil detectar goteiras e vazamentos (HAGEMANN, 2009).

### **3.1.4. Descarte da primeira água de chuva**

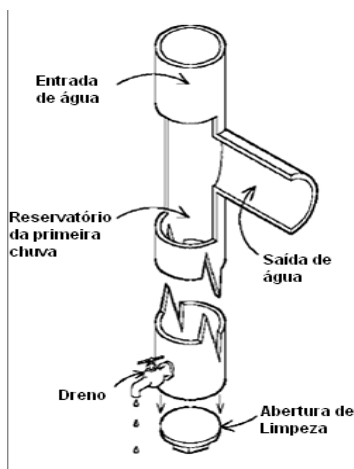
Durante os períodos secos, as superfícies de captação da água da chuva interceptam e acumulam resíduos como folhas, galhos, poeira, fezes de animais e poluentes atmosféricos. Por este motivo a primeira parte da chuva tende a lavar a atmosfera e a superfície de captação carregando consigo os poluentes destes dois ambientes (Hagemann, 2009). A qualidade da água da primeira chuva vai depender principalmente dos poluentes e impurezas encontrados na superfície de captação.

Um sistema de descarte da primeira água de chuva tem como objetivo evitar que a primeira parcela de água escoada interfira negativamente na qualidade da água. O sistema é constituído de um dispositivo de coleta da água inicial e um reservatório para armazenamento temporário desta água. A NBR 15.527 recomenda que o descarte desta água seja feito de forma automática.

A instalação de um sistema de descarte da primeira água de chuva é recomendada pela NBR 15.527.



O sistema mais simples de descarte consiste de um tubo de PVC que coleta a primeira parte do volume precipitado (Figura 2). Após o enchimento do reservatório da primeira água, o escoamento é desviado para o conduto principal que leva a água para o reservatório principal. Este sistema requer o descarte manual da água do reservatório após o término da precipitação.



**Figura 2 - Sistema mais simples de descarte a primeira água de chuva. Fonte: Water Development Board (2005)**

Existem diversos outros métodos de descarte da primeira água de chuva. De acordo com o Texas Water Development Board (2005), um dos mais comuns consiste em uma esfera flutuante que sela a entrada do reservatório de descarte, fazendo com que a água escoe para o reservatório.

Para a escolha da forma de descarte, devem ser ponderadas as características do sistema como precipitação média, volume do reservatório e qualidade da água pluvial.

Na falta de dados mais precisos, a NBR 15.527 recomenda que seja descartado um volume correspondente a 2 mm da precipitação inicial.

### **3.1.5. Tratamento**

Após o descarte, algumas substâncias ainda permanecem na água de chuva, e, em alguns casos, faz-se necessária a utilização de dispositivos para a sua filtração.

Segundo Texas Water Development Board (2005), para um sistema de aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis e para telhados que sejam lavados periodicamente, grades de retenção de sólidos grosseiros e bueiros são suficientes.

Caso a água da chuva seja utilizada para fins potáveis, é necessária a realização de tratamentos mais completos antes que a água chegue ao reservatório. Entre os processos de tratamento destacam-se a filtração em filtros de areia ou de carvão ativado. A água deve ainda passar por uma etapa de desinfecção, na qual normalmente é realizada a cloração ou a própria fervura desta água. Um método mais eficiente é a desinfecção por radiação ultravioleta. Este processo, no entanto só é recomendado em casos extremamente necessários devido ao alto custo de implementação e manutenção do sistema.

Outras formas de tratamento com alta eficiência e alto custo são a filtração através de membrana (osmose reversa ou nanofiltração), tratamento com Ozônio ( $O_3$ ) e desinfecção com cloro.

### 3.1.6. Armazenamento

O reservatório de armazenamento tem a função de reter e acumular a água captada. O reservatório também é responsável pela qualidade da água no ponto de consumo. Em muitos casos, o alto custo de implementação e limpeza dos reservatórios pode inviabilizar a construção do sistema (HAGEMANN, 2009).

O reservatório pode estar sobre o solo ou enterrado e sempre que possível deve estar localizado próximo aos pontos de consumo para reduzir a distância de transporte da água.

Os materiais mais utilizados são concreto, alvenaria, ferro-cimento, metal galvanizado, fibra de vidro e polipropileno.

Além da correta escolha do material do qual será feito o reservatório, algumas medidas e cuidados são importantes para garantir a segurança do abastecimento e a qualidade da água coletada. Evans *et al.* (2006) apresenta algumas características construtivas que devem ser respeitadas pelos reservatórios e alguns cuidados a serem tomados, entre eles:

- Evitar a entrada de luz solar no reservatório para diminuir a proliferação de algas e microrganismos;
- Manter a tampa de inspeção fechada;
- Colocar grade ou tela na extremidade de saída do tubo extravasor, para evitar a entrada de pequenos animais;

- Realizar a limpeza anual do reservatório, removendo os sedimentos;
- Projetar o reservatório de armazenamento com declividade no fundo na direção da tubulação de drenagem, facilitando a limpeza;
- Assegurar que a água coletada seja utilizada somente para fins não-potáveis.
- A NBR 15527/07 recomenda o uso de dispositivos para evitar a conexão cruzada quando o reservatório de água de chuva também for alimentado com água de uma fonte potável. Além disso, os reservatórios devem atender às exigências da NBR12217/94– Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público.

Todos esses cuidados, somados à manutenção e limpeza adequada dos demais componentes do sistema de aproveitamento de águas pluviais, são de extrema importância para garantir o bom funcionamento das instalações e a qualidade da água coletada.

Para o dimensionamento dos reservatórios foram desenvolvidos modelos matemáticos que facilitam a sua determinação. Alguns dos modelos mais conhecidos são:

- Método de Rippl: método baseado no diagrama de massa do sistema para determinar o volume de armazenamento necessário para garantir uma vazão regularizada constante durante um período de estiagem.
- Modelo Comportamental: método que simula a operação do reservatório num período de tempo, simulando fluxos de massa com algoritmos que descrevem a operação de um reservatório.
- Método de Simulação de Monte Carlo: método baseado na simulação de variáveis aleatórias.

### **3.1.7. Qualidade da água de chuva**

Com a utilização da água pluvial como fonte alternativa em crescimento, aumenta a preocupação da qualidade desta água. A preocupação se intensifica nos grandes centros urbanos cuja poluição atmosférica é elevada e pode influenciar negativamente na qualidade da água consumida (ANECCHINI, 2005).

Philippi *et al.* (2006) enfatiza que diversos fatores influenciam a qualidade da água da chuva e dentre estes se destacam: a localização geográfica da área de captação (proximidade do oceano, áreas urbanas ou rurais), a presença de vegetação, a presença de carga poluidora e a composição dos materiais que formam o sistema de captação e armazenamento (telhados, calhas e reservatório). As condições meteorológicas como intensidade, duração e tipo de chuva, o regime de ventos e a estação do ano também têm forte influência sobre as características das águas pluviais.

A qualidade da água da chuva sofre alterações tanto na atmosfera quanto após contato com as superfícies da área de captação e dos reservatórios. Este processo carrega substâncias contaminadas presentes na mesma, modificando a sua qualidade inicial.

A ação antrópica é a principal responsável pelo lançamento de compostos que alteram a qualidade da chuva na atmosfera. Atividades industriais (indústria automotiva, celulose, cimento, refinarias, fertilizantes, etc.), combustão de combustíveis, a construção civil, entre outras, liberam substâncias poluentes do ar, como: compostos de enxofre e nitrogênio, compostos orgânicos de carbono, monóxido e dióxido de carbono, compostos halogenados e material particulado.

Apesar da grande influência da atmosfera, as maiores alterações na qualidade da água da chuva ocorrem após o seu contato com a superfície de captação. Segundo Evans *et al.* (2006) as principais fontes de contaminação nas superfícies de captação são os rejeitos resultantes das atividades de insetos, aves e pequenos mamíferos e a deposição de poluentes atmosféricos.

Rebello (2004) aponta que entre os diversos materiais e substâncias presentes nestas superfícies, podem-se citar: fezes de aves e roedores, artrópodes e outros animais mortos em decomposição, poeira, folhas e galhos de árvores, revestimento do telhado, fibras de amianto, resíduos de tintas, entre outros que ocasionam tanto a contaminação por compostos químicos quanto por agentes patogênicos. Além disso, o próprio material do qual é feito o telhado pode criar condições para a retenção de sujeiras e proliferação de microorganismos, o que contribui para a contaminação da água.

A qualidade da água no reservatório é influenciada pela eficiência dos dispositivos a montante (grades de retenção de sólidos grosseiros e descarte da primeira água). Também é essencial evitar aberturas que possibilitem a entrada de animais (insetos e roedores) e a incidência de luz que pode intensificar a degradação da matéria orgânica. Num primeiro momento a tendência é de melhora na

qualidade da água dentro do reservatório, devido à sedimentação da maior parte dos compostos em suspensão na água. No entanto, o acúmulo de matéria no fundo do reservatório pode comprometer a qualidade da água se não for realizada limpeza regular, causando ainda a diminuição da capacidade do reservatório. Na Tabela 1 está apresentado o padrão de qualidade para uso não potável da água estabelecido pela NBR 15.527 (ABNT, 2007).

**Tabela 1 - Padrão de qualidade para fins não potáveis. Adaptado de NBR 15527.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Análise</b>	<b>Valor</b>
<b>Coliformes totais</b>	Semestral	Ausência em 100 ml
<b>Coliformes termotolerantes</b>	Semestral	Ausência em 100 ml
<b>Cloro residual livre</b>	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
<b>Turbidez</b>	Mensal	< 5,0 uT
<b>Cor aparente</b>	Mensal	<15 uH
<b>pH</b>	Mensal	6,0 a 8,0

Melo (2007) avaliou a qualidade da água da chuva após passar pela superfície de captação e nos reservatórios de armazenamento e concluiu que as amostras de água coletadas nos reservatórios de acumulação apresentaram melhores resultados em relação às amostras coletadas do telhado. Segundo o autor isso ocorre devido ao descarte da primeira chuva, a retirada do material orgânico grosseiro como folhas e galhos e a sedimentação do material particulado proveniente do telhado.

A ABNT define a partir da NBR 15527 os padrões para utilização de água pluvial para fins não potáveis (Tabela 1).

## **3.2. Uso da água em sistema industrial de resfriamento**

### **3.2.1. Funcionamento das Torres de Resfriamento**

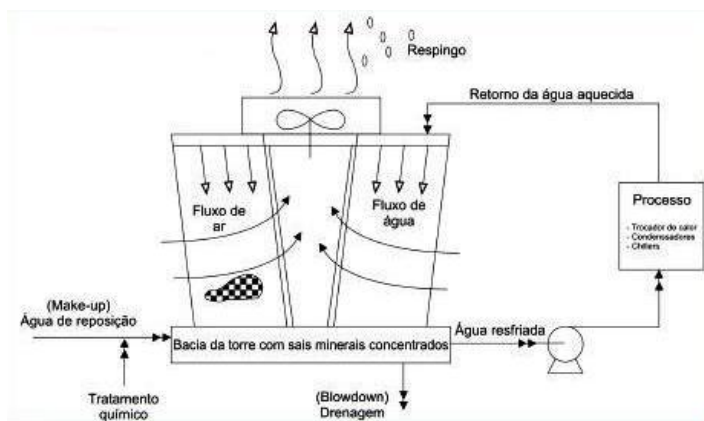
Muitos dispositivos industriais, como geradores e fornos elétricos, necessitam frequentemente serem resfriados para que não ocorra um superaquecimento que comprometa a eficiência do processo (SPX – COOLING TECHNOLOGIES, 2009). Devido a sua disponibilidade e características físico-químicas a água é o fluido mais utilizado para o resfriamento. As Torres de Resfriamento são equipamentos que reduzem a temperatura da água de recirculação para

que ela possa retornar ao sistema. Em média a água entra na Torre de Resfriamento a uma temperatura de 60°C sendo resfriada para 30°C para, então, retornar ao sistema de recirculação.

Trovati (2004) descreve que o resfriamento da água ocorre devido a dois processos:

- Transferência de calor por convecção devido ao contato com o fluxo de ar que está a uma temperatura mais baixa, ocorrendo neste caso aproximadamente 20% de transferência do calor.
- Transferência de calor latente devido à evaporação da água, ocorrendo a transferência de 80% do calor

Após passar pela máquina a ser resfriada e esquentar, a água passa pela Torre de Resfriamento onde é resfriada. Na torre de resfriamento grande parte do volume de água é perdida por evaporação ou respingo. O restante da água segue para uma bacia de contenção da qual a água é bombeada novamente para o processo. Os sais minerais evaporam a uma temperatura superior a da água e por serem mais densos tendem a se concentrar no fundo da bacia de contenção. Por isso existe um dispositivo de descarte de uma fração da água da bacia para evitar o acúmulo de sais minerais na água de recirculação (Figura 4).



**Figura 3 - Funcionamento de uma Torre de Resfriamento de circuito semi-aberto. Fonte: <http://www.termoparts.com.br>**

Para repor a água que é perdida (evaporação, respingos e descarte), a bacia de contenção tem que ser alimentada por uma rede de abastecimento de água.

Em relação ao tipo de circulação, as torres de resfriamento podem ser classificadas em três classes.

No sistema de *circuito aberto*, após passar pelo processo industrial e ser aquecida, a água é resfriada na torre de resfriamento e descartada. Devido ao alto consumo, torres de resfriamento deste tipo são utilizadas em locais com uma alta disponibilidade de água.

No sistema de *circuito semi-aberto*, após ser aquecida, a água retorna ao sistema de resfriamento e nesse processo grande parte do seu volume sofre evaporação, sendo preciso um sistema de abastecimento para repor a água.

Nas torres com o *circuito fechado*, a água circula ao longo de todo processo no interior de uma tubulação, não sofrendo perdas no volume. Para resfriar a tubulação com a água aquecida utiliza-se a água de abastecimento, que sofre uma grande perda de volume ao entrar em contato com uma superfície mais quente, sendo necessário um sistema para repor a água.

### **3.2.2. Problemas em Torres de Resfriamento relacionados à água**

Mancuso (2001) e Trovati (2004) relatam em seus estudos problemas que ocorrem em Torres de Resfriamento devido à qualidade da água utilizada em seu processo. Das possíveis consequências da utilização da água, três são consideradas as mais significativas: Incrustações, Corrosão e Desenvolvimento Microbiológico.

Em alguns casos, a solução completa desses problemas torna-se inviável técnica ou financeiramente. Por isso, um tratamento da água tem o objetivo de minimizar as consequências do problema, possibilitando a convivências com ele desde que sejam feitos planos de monitoramento do processo.

#### ***a-) Incrustações:***

São causadas pela precipitação de substâncias dissolvidas nas superfícies dos equipamentos. Os principais responsáveis pela formação de incrustações são: sais de cálcio, sais de magnésio, sílica solúvel, silicatos e óxido de ferro. A solubilidade de cada composto varia, sofrendo variações de acordo com a temperatura, concentração e pH da água. A evaporação da água de resfriamento resulta em um aumento da

concentração das substâncias dissolvidas na água, aumentando o potencial da precipitação dos mesmos. As principais consequências da presença de incrustações em circuitos de resfriamento são:

- Diminuição das taxas de troca de calor nos trocadores;
- Obstrução e até destruição do enchimento (colméias) de torres de resfriamento;
- Obstrução (parcial ou total) de tubulações e acessórios, restringindo a área de fluxo e reduzindo a vazão. A Figura 5 ilustra este caso;
- Entupimento de bicos e dispositivos distribuidores de água nas torres de resfriamento, promovendo a ocorrência de canais preferenciais de escoamento e diminuindo a eficiência do equipamento;
- Aumento dos processos corrosivos que ocorrem sob os depósitos.



**Figura 4 - Incrustações de carbonato de cálcio em um condensador. Fonte: Trovati (2004)**

### *b-) Corrosão*

A corrosão é definida como a destruição da estrutura de um metal através de reações químicas e/ou eletroquímicas com o ambiente. A corrosão é um mecanismo natural dos metais voltarem ao estado original.

Basicamente, a corrosão envolve reações de óxido redução, na qual o ânodo que é consumido está a uma determinada distância do cátodo, que recebe os elétrons. Este fenômeno ocorre devido a existência de uma diferença de potencial elétrico entre os dois pontos. A Figura 6 ilustra a corrosão em algumas superfícies.





**Figura 5 - Exemplos de superfícies de peças e tubulações danificadas por corrosão. Fonte: Trovati (2004).**

### *c-) Desenvolvimento Microbiológico*

Em circuitos de resfriamento, o desenvolvimento exagerado de organismos como algas, fungos e bactérias, torna-se um dos principais problemas (Figura 6). De acordo com Trovati (2004), os principais inconvenientes causados pelo crescimento microbiológico em águas de resfriamento são:

- Formação de depósitos sobre superfícies de troca térmica, diminuindo as taxas de transferência de calor;
- Obstrução de tubos, bicos aspersores, válvulas, equipamentos, entre outros, diminuindo assim a eficácia do processo;
- Formação de lodo no fundo das bacias, criando condições propícias para o surgimento de novas espécies de microorganismos;
- Obstrução e crescimento exagerado em recheios e colméias das torres, diminuindo a eficiência no resfriamento de água e, em casos extremos, podendo causar ruptura e desmoronamento do recheio;
- Formação de espuma na água de resfriamento;
- Formações de incrustações devido a combinação de material inorgânico e substâncias mucoaginosas;
- Decomposição de estruturas de madeira, provocada principalmente por espécies de fungos;
- Mau cheiro no local devido ao acúmulo de material orgânico;
- Desenvolvimento de classes patogênicas de microorganismos.



**Figura 6 - Acúmulo de matéria orgânica no interior de tubos. Fonte: Trovati (2004)**

### **3.2.3. Padrão de qualidade da água para utilização em Torres de Resfriamento**

A ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA (1992) sugere um padrão de qualidade da água (Tabela 2) para ser utilizada em Torres de Resfriamento de sistema fechado.

**Tabela 2 - Padrão de qualidade para Torres de Resfriamento. Fonte: Adaptado de EPA (1992)**

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
<b>DBO</b>	mg/l	< 30
<b>Sólidos Suspensos Totais</b>	mg/l	<30
<b>Coliformes Fecais</b>	UFC/ 100ml	<200
<b>Cloro Residual</b>	mg/l	> 1
<b>pH</b>	-	6 a 9

Trovati (2004) lista os principais parâmetros (Tabela 3) para monitorar a qualidade da água utilizada nas torres de resfriamento.

**Tabela 3 - Padrão de qualidade da água sugerido. Fonte: Trovati (2004).**

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
<b>pH</b>	-	6,5 a 8,5

<b>Condutividade</b>	$\mu\text{S/cm}$	< 3000
<b>Alcalinidade Total</b>	mg/l	< 400
<b>Sólidos Totais</b>	mg/l	< 2800
<b>Dissolvidos</b>		
<b>Dureza Total</b>	mg/l	< 400
<b>Cloretos</b>	mg/l	< 200
<b>Sílica</b>	mg/l	< 150
<b>Ferro</b>	mg/l	< 5
<b>Sólidos Suspensos</b>	mg/l	< 20
<b>Sulfatos</b>	mg/l	< 300
<b>Turbidez</b>	NTU	< 20

## 4. ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo foi realizada uma caracterização do município (Joinville-SC) e da empresa (Schulz S.A) onde ocorreram os estudos.

### 4.1. Caracterização do município de Joinville

Este estudo é realizado na cidade de Joinville, localizada na região norte do estado de Santa Catarina (Figura 7). Segundo o IBGE, a população de Joinville no ano de 2010 era de 515.250 habitantes. O município está localizado nas coordenadas 26°18'14" Sul e 48°50'45" Oeste e possui uma área aproximada de 1.131 km<sup>2</sup>. O município se caracteriza por ser o mais populoso e industrializado do estado.

O clima do município é classificado como Mesotérmico Úmido a Superúmido, com pouco ou nenhum déficit de água, apresentando três subclasses diferentes, devido às características geomorfológicas. As temperaturas médias no verão variam entre 23,6° C e 29,9° C. No inverno entre 13,9° C e 20,6° C.



**Figura 7 - Localização do município de Joinville no estado de Santa Catarina**

Em Benetti & Ramos (2005) foi feita uma sistematização dos dados pluviométricos da região de Joinville. Foram compilados dados de cinco estações do município, resultando em uma média de 2.376,36 milímetros precipitados anualmente. Neste estudo foi constatado que os períodos mais chuvosos vão do mês de setembro até o final do mês de março, e os períodos secos de abril até o final do mês de agosto.

Quanto à hidrografia o município possui rios de pequena extensão, mas de grande vazão, como é o caso do rio Cachoeira que passa pelo centro da cidade e desemboca na baía da Babitonga. Predominam quatro bacias hidrográficas: Rio Itapocu, Cubatão, Cachoeira e as Bacias Independentes da Região Leste.

## 4.2. Caracterização da empresa Schulz S.A

A empresa Schulz S.A foi fundada no ano de 1962, no município de Joinville/SC, inicialmente como uma pequena fundição que produzia produtos destinados ao setor agrícola. Desde então a empresa vem se desenvolvendo culminando em 1977 na construção de uma nova planta localizada na Zona Industrial Norte de Joinville.

Atualmente a Schulz S.A possui duas linhas de produção, Compressores e Automotiva, sendo a última dividida em Fundição e Usinagem/Pintura.

### *a-) Compressores:*

O processo de produção dos compressores Schulz compreende as etapas de fabricação dos reservatórios de ar, montagem, pintura e embalagem. Todas as peças montadas são compradas prontas dos fornecedores, com exceção do reservatório que é produzido na fábrica. Alguns compressores são pintados na própria linha, enquanto outros são pintados no setor de Usinagem/Pintura. Após o término da montagem, os produtos são confeccionados em *palets* de madeira e embalados com plástico.

### *b-) Automotiva – Fundição:*

O setor de fundição é responsável pela produção de peças para a indústria automotiva (caminhões e tratores). Atualmente a capacidade de produção é de aproximadamente 90.000 toneladas de peças acabadas por ano.

Na produção das peças é utilizado o processo de areia verde com máquinas de moldagem, de compressão hidráulica e máquinas pneumáticas de impacto e compressão, empregando em seus métodos modelos, moldes e machos que determinam a forma de cada peça. O processo de moldagem em areia verde consiste na confecção de moldes utilizando uma mistura preparada com areia, argila e água.

### *c-) Automotiva – Usinagem/Pintura:*

O processo de usinagem consiste em dar um acabamento adequado as peças produzidas na fundição. São utilizadas máquinas e equipamentos capazes de cortar e/ou regularizar arestas. Alguns métodos utilizados são o torneamento e o fresamento. Torneamento é o processo que utiliza suporte externo e barra de mandrilar. A máquina

utilizada para torneamento é chamada de torno. Para as operações de fresamento existem dois tipos de fresa, uma que usina a superfície do material e a outra é a fresa de topo que realiza usinagem de perfis e canais a 90°. A máquina utilizada para fresamento é chamada de fresadora (SCHULZ,2012).

O setor de pintura é responsável pela pintura tanto das peças acabadas da linha Automotiva quanto da linha de Compressores. O sistema de Pintura dispõem de tratamento de base por fosfatização tri catiônica, pintura *primer* e pintura eletrostática a pó.

Na Figura 8 está delimitada a área da empresa com os setores produtivos identificados e localizados.



**Figura 8 - Imagem de satélite da empresa Schulz S.A com as áreas produtivas identificadas. Fonte: Autor.**

## **5. METODOLOGIA**

As atividades realizadas para a obtenção de informações são detalhadas neste capítulo. Inicialmente são apresentadas informações relacionadas ao sistema piloto e à qualidade da água. Em seguida, com o estudo pluviométrico obteve-se dados para cálculo de volumes de chuva, intensidade de chuva, vazão de pico e análise estatística de dias secos e chuvosos consecutivos. Por último, são descritos o método e os dados necessários para a análise econômica (custo-benefício) do projeto piloto e do potencial para a empresa.

### **5.1. Sistema piloto de captação de água da chuva**

Para descrever o projeto piloto de captação de água da chuva da empresa Schulz S.A que está em implementação, foi realizado um acompanhamento das suas etapas. Este projeto surgiu para integrar um plano de captação de fontes alternativas de água devido ao aumento da demanda de água das torres de resfriamento da fábrica. Juntamente com a água pluvial será utilizada para o abastecimento das torres de resfriamento a água do lençol freático de poços previamente construídos.

#### **5.1.1. Concepção do projeto**

A concepção do projeto foi realizada por engenheiros da empresa. As informações sobre o planejamento, principais componentes (área de captação, reservatórios, bombas, sensores de nível e outros), plantas das áreas do projeto e fluxogramas do sistema foram repassadas em reuniões e por meio de entrevistas com os engenheiros. Foram realizadas também visitas aos locais do futuro sistema para maiores esclarecimentos.

#### **5.1.2. Torres de Resfriamento**

Informações para a caracterização das torres de resfriamento foram obtidas através de entrevistas com os engenheiros da Schulz S.A, embora informações sobre a função e tipo de cada torre não tenham sido reveladas.

O consumo de água é medido com um hidrômetro que fica logo após a saída do reservatório que abastece as torres de resfriamento,

sendo possível determinar apenas a demanda total do conjunto e não de cada uma das torres.

As informações de demanda de água das torres de resfriamento foram obtidas através de registros da empresa do ano de 2011, antes da desinstalação de hidrômetros no início de 2012.

### **5.1.3. Qualidade da água**

Para a caracterização da qualidade da água de chuva que escoava da área de captação, foram feitas análises em laboratórios com o objetivo de compará-la com os padrões estabelecidos por Normas Técnicas (ABNT e EPA) e trabalhos técnicos na área Trovati (2004) e Mancuso (2001). Estes padrões são estabelecidos para utilização de água de chuva para fins não-potáveis e, em alguns casos, especificamente para torres de resfriamento.

Foram também realizadas análises da qualidade da água que atualmente abastece as torres de resfriamento para fazer a comparação entre os parâmetros dessa água e os parâmetros da que será captada, com o intuito de se conhecer se haverá influência da água pluvial na água de abastecimento do sistema.

Para a análise da água pluvial foram feitas coletas em dois pontos do telhado. As coletas foram realizadas no dia 28/05/2012 enquanto que as análises foram realizadas no dia 31/05/2012. As coletas e as análises foram realizadas pela empresa *Acquaplant Química do Brasil Ltda.* Os parâmetros analisados foram: Alcalinidade total, Cloretos, Dureza, Sólidos Totais Dissolvidos e pH.

## **5.2. Estudos Pluviométricos**

Nesta seção são descritos os estudos pluviométricos realizados para obtenção dos dados necessários para cálculo de volumes de chuva, intensidade de chuva, vazão de pico e análise estatística de dias secos e chuvosos consecutivos.

### **5.2.1 Série histórica de precipitação**

Para calcular os volumes que serão captados mensalmente após a instalação do sistema piloto, foi realizado um levantamento da série histórica de precipitação na região do estudo.

Os dados pluviométricos foram obtidos no *site Hidroweb.com* da ANA. A estação escolhida foi a de Pirabeiraba, localizada em um



distrito com o mesmo nome no município de Joinville/SC. As informações da estação estão expostas na Figura 9.

<b>Dados da Estação</b>	
Código	02648033
Nome	PIRABEIRABA
Código Adicional	-
Bacia	ATLÂNTICO, TRECHO SUDESTE (8)
Sub-bacia	RIOS NHUNDIAQUARA, ITAPOCU E .. (82)
Rio	-
Estado	SANTA CATARINA
Município	JOINVILLE
Responsável	ANA
Operadora	EPAGRI
Latitude	-26:10:48
Longitude	-48:56:22
Altitude (m)	-
Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	-

**Figura 9 - Informações da estação de Pirabeiraba. Fonte [www.hidroweb.com](http://www.hidroweb.com)**

A estação pluviométrica de Pirabeiraba foi escolhida devido a dois fatores principais. Primeiro, a proximidade geográfica da estação com a empresa Schulz S.A, distantes aproximadamente 9 km. Outro fator importante para a escolha desta estação foi a menor quantidade de falhas em comparação com as outras estações pluviométricas de Joinville. O período da série de dados compreende os anos de 1988 a 2010. Os dados referentes aos anos de 2005 a 2008 não foram considerados para o estudo, pois apresentavam uma grande quantidade de falhas.

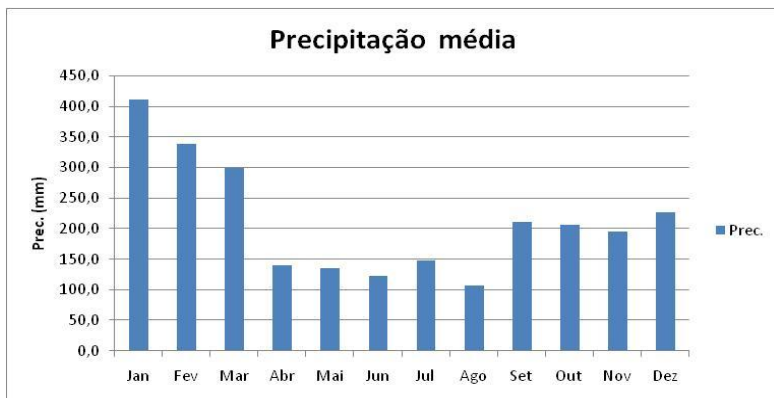
Nas Tabelas 4 e 5 estão apresentados respectivamente os totais anuais e as médias pluviométricas para cada mês dentro do período analisado. O valor da precipitação média mensal, que também está representado pelo Gráfico 1, será utilizado para o cálculo do volume captado

**Tabela 4 - Precipitações totais anuais (1988-2004 e 2009-2010). Fonte: ANA.**

<b>Ano</b>	<b>Precipitação anual (mm)</b>
<b>1988</b>	2.319,7
<b>1989</b>	2.617,9
<b>1990</b>	2.966,1
<b>1991</b>	1.978,8
<b>1992</b>	2.166,9
<b>1993</b>	2.401,9
<b>1994</b>	2.614,4
<b>1995</b>	2.838,4
<b>1996</b>	2.839,5
<b>1997</b>	2.718,5
<b>1998</b>	3.047,1
<b>1999</b>	2.708,3
<b>2000</b>	2.047,6
<b>2001</b>	2.894
<b>2002</b>	2.178
<b>2003</b>	2.094,8
<b>2004</b>	1.988,8
<b>2009</b>	2.401,4
<b>2010</b>	3.417,7

**Tabela 5 - Precipitações médias mensais (1988-2004 e 2009-2010) . Fonte: ANA**

<b>Mês</b>	<b>Precipitação média (mm)</b>
<b>Janeiro</b>	410,2
<b>Fevereiro</b>	337,8
<b>Março</b>	299,3
<b>Abril</b>	140,8
<b>Maio</b>	134,7
<b>Junho</b>	123,0
<b>Julho</b>	147,9
<b>Agosto</b>	107,1
<b>Setembro</b>	210,4
<b>Outubro</b>	206,5
<b>Novembro</b>	195,3
<b>Dezembro</b>	225,9
<b>Total</b>	<b>2.538,9</b>



**Gráfico 1 - Precipitação média mensal (1988-2004 e 2009-2010).**

### **5.2.2. Estudo das chuvas intensas e dimensionamento de calhas e condutos verticais**

Para o dimensionamento de calhas e condutos verticais, devem ser calculadas as chuvas de grandes intensidades que podem ocorrer na área de estudo. Estes dispositivos precisam conduzir as vazões de pico geradas pelas chuvas intensas.

#### *Chuvas intensas:*

Para estimar estas chuvas de grande intensidade existe uma equação geral (Equação 1) cujos parâmetros são obtidos para cada local, reproduzindo desta forma resultado condizente com a realidade local.

$$i = \frac{K \cdot T^m}{(t + b)^n} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

- $i$  - intensidade da chuva (mm/h)
- $T$  - Tempo de Retorno da chuva (escolha do projetista)
- $t$  - Tempo de duração da chuva (escolha do projetista)
- $K, m, b$  e  $n$  - parâmetros de ajuste da equação

Back (2002) desenvolveu uma equação de chuvas intensas para o município de Joinville/SC na qual foram usados os parâmetros descritos na Tabela 6.

**Tabela 6– Parâmetros para equação de chuvas intensas de Joinville. Fonte: Adaptado de BACK (2002)**

Parâmetro	Valor
<b>K</b>	641,7
<b>m</b>	0,229
<b>b</b>	8,8
<b>n</b>	0,6859

O *Tempo de retorno (T)* representa a frequência estimada para que o sistema dimensionado atinja a sua capacidade. A escolha do tempo de retorno é responsabilidade do projetista e neste caso foi escolhido pelos engenheiros da empresa o valor de 2 anos.

A escolha do *tempo de duração da chuva (t)* é baseada na dimensão da bacia de captação. O valor adotado, 5 minutos, foi o sugerido pela norma.

A intensidade calculada é utilizada no cálculo da vazão máxima (*Q*) (Equação 2) que será utilizada para dimensionar as calhas horizontais e condutos verticais.

$$Q = \frac{c \cdot i \cdot A}{60} \quad \text{Equação 2}$$

onde:

Q – Vazão de pico (l/min)

c – Coeficiente de escoamento

i – Intensidade obtida com a Equação 1

A – Área de captação (m<sup>2</sup>)

### *Calhas horizontais:*

Para o dimensionamento das calhas horizontais foi considerada a vazão de pico calculada com as Equações 1 e 2, para que a calha suporte precipitações extremas. Para este sistema piloto engenheiros da

empresa optaram por calhas de meia seção circular. A equação utilizada para o dimensionamento das calhas foi a de Manning (Equação 3):

$$Q = 60000 \frac{S}{n} Rh^{2/3} I^{1/2} \quad \text{Equação 3}$$

onde:

Q = vazão máxima de projeto (l/min)

n = coeficiente de rugosidade

Rh = Raio hidráulico (m)

S = Área da seção molhada (m<sup>2</sup>)

O *Raio Hidráulico* foi obtido dividindo a área molhada pelo perímetro molhado. Para calhas de meia seção circular, o diâmetro é definido pela Equação 4.

$$D = \left( \frac{3,36 \times 10^{-4} \times Q \times n}{\pi \times \sqrt{I}} \right)^{3/8} \quad \text{Equação 4}$$

Na Tabela 7 estão descritos valores do coeficiente de *rugosidade* (n) para os materiais que são mais frequentemente utilizados em calhas horizontais.

**Tabela 7- Coeficientes de rugosidade. Fonte: NBR 10.844 (ABNT, 1989)**

Material	Coeficiente de rugosidade (n)
Plástico, fibrocimento, aço, metais não-ferrosos	0,011
Ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
Cerâmica, concreto não-alisado	0,013
Alvenaria de tijolos não revestida	0,015

### *Condutos verticais:*

Os condutos verticais podem ser dimensionados de acordo com os dados apresentados na Tabela 8, elaborada por Botelho e Ribeiro Jr *apud*. Nez (2010). As vazões adotadas para o cálculo são as geradas pela chuva intensa. A NBR 10844 preconiza que o diâmetro interno mínimo para condutos verticais de seção circular seja de 70 mm.

As informações sobre a altura do telhado foi obtida em plantas do local.

**Tabela 8 - Diâmetros para condutos verticais. Fonte: Adaptado de Botelho & Ribeiro Jr (2010). *apud*. (NEZ, 2010)**

Diâmetro (mm)	Vazão máxima (L/s)
50	0,57
75	1,76
100	3,78
125	7,00
150	11,53
200	25,18

### **5.2.3. Análise estatística dos períodos secos e chuvosos**

Com os dados históricos foi realizada uma análise estatística dos dias secos e chuvosos consecutivos. Esta análise permite o cálculo da probabilidade de ocorrer um evento com uma quantidade ( $k$ ) de dias consecutivos de uma determinada condição (seco ou chuvoso).

Esta análise não é diretamente aplicada no sistema piloto. No entanto, ela proporciona um maior conhecimento do comportamento pluviométrico da região e um melhor planejamento de algumas atividades relacionadas ao sistema de captação da água de chuva na empresa. Por exemplo, a lavagem dos reservatórios, operação da bomba, lavagem do telhado e a manutenção de dispositivos do sistema. A partir do momento em que a água de chuva torna-se a principal fonte de abastecimento, este estudo será fundamental, pois será preciso um planejamento para os períodos com menor probabilidade de chuva. Uma das medidas a ser tomada em períodos de seca será o enchimento dos reservatórios com a água da rede pública.

Robertson (1976) *apud*. Andrade *et al.*(2008) apresenta as equações 5 e 6 para o cálculo da probabilidade  $P(Sk)$  e  $P(Ck)$  da ocorrência de  $k$  dias secos e chuvosos consecutivos respectivamente:

$$P(Sk) = P(S) \times P(SS)^{k-1} \quad \text{Equação 5}$$

onde:

$$P(C) = \frac{\text{nº de dias secos no período}}{\text{nº de dias do período}}$$

$$P(CC) = \frac{\text{nº de dias secos precedido por dias secos no período}}{\text{nº de dias do período}}$$

$k$  = número de dias consecutivos do evento.

$$P(Ck) = P(C) \times P(CC)^{k-1} \quad \text{Equação 6}$$

onde:

$$P(C) = \frac{\text{nº de dias chuvosos no período}}{\text{nº de dias do período}}$$

$$P(CC) = \frac{\text{nº de dias chuvosos precedido por dias chuvosos no período}}{\text{nº de dias do período}}$$

$k$  = número de dias consecutivos do evento.

Foi utilizada a série histórica da estação de Pirabeiraba na qual todos os dias em que foi medida uma precipitação superior a zero foram considerados chuvosos.

### 5.3. Análise do custo-benefício

Para a análise econômica do projeto piloto foram comparados os custos do sistema (implantação e manutenção) com o benefício gerado pela economia no volume de captação.

Após o levantamento das informações (custos e benefícios) foi utilizada a Equação 7 para o cálculo do balanço econômico de cada mês após o início do funcionamento do sistema.

$$S_k = S_{k-1} + B_k - \text{Man} \quad \text{Equação 7}$$

onde:

$S_k$  = Saldo no mês  $k$

$S_{k-1}$  = Saldo do mês anterior

$B_k$  = Benefício obtido no mês  $k$

$Man$  = Custo da manutenção do sistema

Nesta equação, o saldo do primeiro mês é igual ao valor negativo do custo inicial de implantação do sistema. Para cada mês seguinte são considerados os custos com a manutenção do sistema e o benefício financeiro gerado pela economia de água.

### 5.3.1. Obtenção dos custos

Os custos foram classificados nas seguintes: custos iniciais e custos de manutenção.

#### *Custos iniciais:*

Nos custos iniciais foram considerados gastos para a instalação do projeto e que não se repetem nos meses seguintes. Nesta classe serão considerados os gastos com:

- Calhas horizontais
- Condutos verticais
- Dispositivos de descarte
- Grades
- Tubulações enterradas

Para o cálculo dos custos com a calha horizontal e os condutos verticais, foram considerados os diâmetros calculados neste presente trabalho (seção 6.2.4). O custo de mercado das tubulações foi consultado na Web site [www.balaroti.com.br](http://www.balaroti.com.br). O comprimento das tubulações foi obtido com auxílio das plantas do telhado.

Os custos dos dispositivos de descarte e grades foram consultados em empresas.

Foi feito um orçamento por engenheiros da Schulz S.A do custo com tubulações enterradas para conduzir a água do conduto vertical até os poços que armazenarão temporariamente a água de chuva.

A compra das bombas não é considerada nos custos iniciais do projeto, pois as mesmas já iriam ser instaladas para bombear a água do lençol freático. A possibilidade de aproveitar estas bombas para



bombear a água pluvial foi um dos motivos para escolha dos poços como reservatórios.

### *Custos de manutenção:*

Os custos de manutenção são investimentos mensais para manter o sistema em funcionamento. São considerados nesta classe os gastos com:

- Manutenção do sistema (dispositivos hidráulicos e equipamentos elétricos)
- Reposição das grades
- Monitoramento da qualidade da água
- Energia elétrica para funcionamento das bombas

O valor médio da manutenção dos dispositivos e equipamentos foi estimado por engenheiros da Schulz S.A. Um valor exato não é possível estimar porque a manutenção está sujeita a alterações caso, por exemplo, ocorram acidentes. Para este trabalho é adotado valor estimado pelos engenheiros da empresa.

Considerou-se uma reposição mensal de cada um dos dispositivos de gradeamento. O custo das análises da água dos poços foi levantado com a empresa Schulz S.A. A análise mensal da qualidade da água será realizada pela empresa *Acquaplant Química do Brasil*.

No cálculo do gasto com energia elétrica para o funcionamento das bombas, considerou-se apenas a energia necessária para o bombeamento da água pluvial. O valor pago pela energia elétrica pela empresa foi obtido através de entrevista com o responsável da área.

### **5.3.2 Obtenção dos benefícios**

Para comparar com os gastos, foi determinado o benefício financeiro que o funcionamento do sistema gerará para a empresa.

O benefício financeiro foi calculado em função dos gastos que a empresa teria em obter os volumes que serão captados. Foi calculado o custo do volume captado em cada mês do ano. O valor pago pela Schulz S.A pelo metro cúbico de água foi revelado em entrevista com responsáveis da área.

O volume captado mensalmente foi obtido a partir das médias pluviométricas mensais (Tabela 8 e Gráfico 1). Aplicando os dados obtidos na Equação 8 foi possível calcular os volumes que poderão ser captados para cada mês.

$$V = \frac{(A \times P \times C)}{1000}$$

Equação 8

onde:

V – Volume em m<sup>3</sup>

A – Área em m<sup>2</sup>

P – Precipitação total em mm

C – Coeficiente de Deflúvio

#### 5.4. Potencial da Schulz S.A.

Foi realizado um estudo preliminar do potencial de utilização da água pluvial em outros setores da Schulz S.A, resultando em uma análise preliminar do custo-benefício.

Para isso primeiramente foi levantado as áreas dos telhados da empresa. Este levantamento foi feito a partir de medições previamente realizadas por funcionários da empresa. Com os dados das áreas de captação foram calculados os volumes captados que, possibilitou então, o cálculo do benefício financeiro resultante da utilização de todo potencial da empresa

A partir de registros realizados pelo Sistema de Gestão Ambiental foi realizado um levantamento da demanda de água de toda empresa. Também foi conferida a estrutura atual instalada na empresa (reservatórios, calhas, bombas) para ser utilizada na captação de água pluvial.

Neste trabalho não foi realizado uma estimativa de custo para a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva em toda empresa. Para isso seria necessária a elaboração de um projeto, demandando uma análise completa de todos os elementos que constituem um sistema, o que está fora do objetivo deste trabalho. No entanto para comparar com os benefícios financeiros calculados, será utilizado o custo obtido na monografia de Souza (2005), que em sua dissertação estimou o investimento para a implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva em toda Schulz S.A.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste item estão expostos os resultados e discussões referentes aos objetivos estabelecidos para este trabalho.

Foi realizada uma caracterização das torres de resfriamento da Schulz S.A, explicando as suas funções, demanda de água, forma atual de abastecimento.

Foi apresentado o projeto piloto de aproveitamento de água da chuva da Schulz S.A, explicando a concepção de projeto da empresa e a estrutura (reservatórios, dispositivos de transporte, tratamento, bombeamento) que será necessária para a implantação e operação do sistema.

Em seguida foram levantados os custos para implantação do sistema e o seu benefício financeiro. Com estas informações foi realizada uma análise do custo-benefício da implantação do sistema piloto.

Também será apresentada uma análise preliminar do potencial de aproveitamento da água da chuva que os outros setores da empresa Schulz S.A possuem.

Finalmente estará exposto um estudo estatístico da probabilidade de ocorrência de dias secos e chuvosos consecutivos no município de Joinville. Este estudo fornecerá informações essenciais caso a Schulz S.A venha a aproveitar um maior volume de água pluvial, auxiliando, por exemplo, no planejamento da operação das bombas que irão abastecer os reservatórios.

### **6.1. Torres de Resfriamento na Schulz S.A**

A Schulz S.A possui atualmente 18 torres de resfriamento para atender às demandas da empresa (Figura 10). As torres atendem às máquinas e fornos elétricos da empresa. Das 18 torres de resfriamento, 15 são de circuito fechado e 3 de circuito semi-aberto.

Torres de resfriamento de circuito fechado:

- 4 Torres para abastecer o Forno Otto Junker
- 2 Torres para o Forno ABB-ITM 8000
- 4 Torres para o Forno Inductotherm SS8ton
- 2 Torres para o Forno ABB-ITM 5000
- 2 Torres para o Forno Inductotherm MH30ton
- 1 Torre para o Forno Vazador

Torres de resfriamento de circuito semi-aberto:

- 1 Torre para o Sistema Moldagem HWS-I
- 1 Torre para o Sistema Moldagem HWS-I
- 1 Torre para Linhas de Quebra de Canal



**Figura 10 - Fotografia de Torres de Resfriamento da Schulz**

O consumo de água das torres está diretamente relacionado ao tempo e intensidade de funcionamento das máquinas e fornos que elas abastecem. Além disso, algumas torres de resfriamento foram instaladas recentemente, não podendo ser determinado com precisão o consumo médio atual. Através de entrevistas com funcionários responsáveis pelas instalações da empresa foi constatado que as torres consomem de 7 a 8 metros cúbicos de água por hora quando estão funcionando no regime máximo, com um consumo mensal variando de 3000 a 3300 metros cúbicos por mês. Para este estudo considerou-se um consumo médio de 3200 m<sup>3</sup>/mês.

Atualmente as torres de resfriamento são abastecidas pela água captada da rede pública (empresa *Águas de Joinville*), sem passar por nenhuma forma de tratamento dentro da empresa antes de ser utilizada.

Primeiramente, a água captada é armazenada em um reservatório superior de concreto com capacidade de 520 m<sup>3</sup> responsável por abastecer toda a fábrica. Em seguida, a água segue por intermédio da força gravitacional para um par de reservatórios de 5 m<sup>3</sup> interligados. Os reservatórios de 5 m<sup>3</sup> são constituídos de polietileno. O nível de água nos reservatórios é controlado por sensores de nível mínimo e máximo, armazenando respectivamente 2 e 8 m<sup>3</sup> de água. A partir destes

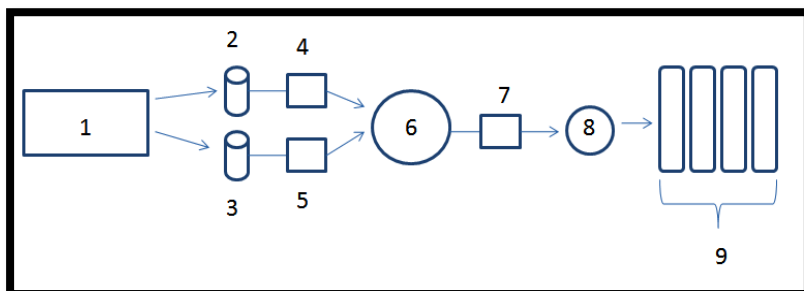
reservatórios realiza-se o abastecimento de todas as torres de resfriamento da fábrica.

## 6.2. Projeto Piloto de Captação de Água de Chuva

Neste item é apresentado o projeto do sistema piloto de captação da água de chuva para uso nas torres de resfriamento da Schulz. Este projeto está inserido em um plano da empresa para buscar fontes alternativas de água para reduzir os gastos com o abastecimento das torres de resfriamento da fábrica, que incluirá a utilização de 5 poços.

### 6.2.1. Concepção do projeto

Devido ao alto consumo de água nas torres de resfriamento, a empresa Schulz S.A está realizando a instalação de um sistema piloto de captação de água de chuva como fonte alternativa de água para sua produção. O Fluxograma apresentado na Figura 11 ilustra a concepção do projeto definido pela empresa.



**Figura 11 - Fluxograma do projeto.**

Legenda:

- 1- Superfície de coleta
- 2- Poço 04
- 3- Poço 05
- 4- Bomba Centrífuga Submersível (BD0018) a ser instalada
- 5- Bomba Centrífuga Submersível (BD0013)
- 6- Reservatório de 40 m<sup>3</sup> (2 Reservatórios de 20 m<sup>3</sup> interligados)
- 7- Conjunto de Bombas Centrífugas (B01 e B02) a ser instalado
- 8- Reservatório de 10 m<sup>3</sup> (2 Reservatórios de 5 m<sup>3</sup> interligados)
- 9- Torres de resfriamento

A área de captação escolhida para o projeto piloto foi o telhado do prédio utilizado para armazenamento e manutenção dos materiais refratários utilizados na Fundição da fábrica (1 – Figura 11). A área do telhado será dividida em duas partes, na qual o volume captado em cada metade será armazenado em um poço.

Os poços 04 e 05 (2 e 3 – Figura 11) armazenarão os volumes captados em cada metade do telhado. A água pluvial será transportada para os poços através da força gravitacional.

A água armazenada nos poços será bombeada por bombas submersíveis (4 e 5 – Figura 11) para um conjunto de dois reservatórios de 20 m<sup>3</sup> cada, interligados entre si pelo princípio dos “vasos comunicantes”. Estes reservatórios (6 – Figura 11) armazenarão toda água captada da chuva acrescida à água do lençol freático obtida a partir dos 5 poços (Poços 01, 02, 03, 04 e 05). O volume nestes reservatórios será controlado por sensores de nível mínimo e máximo, com um volume mínimo de 4,5 m<sup>3</sup> e máximo de 38 m<sup>3</sup>. A água destes reservatórios será bombeada através de um conjunto de bombas centrífugas (7 – Figura 11) para o conjunto de reservatórios (8 – Figura 12) de 5m<sup>3</sup> (Figura 12) já instalados, que armazenam a água captada da rede pública e abastecem as torres de resfriamento (9 – Figura 11).



**Figura 12 - Reservatórios de 5m<sup>3</sup> que abastecem as torres de resfriamento.**

**Fonte: Autor**

### **6.2.2. Área de captação do projeto piloto**

Para a coleta da água de chuva é utilizado o telhado de uma área destinada aos Refratários da Fundição da fábrica (Figura 13). Esta área de captação foi escolhida para a realização do projeto piloto por não ser muito grande e localizar-se próxima aos reservatórios e pontos de utilização (torres de resfriamento), fatores que tornam o custo de execução do projeto mais baixo.

O telhado possui uma área total de 588 m<sup>2</sup> e foi dividida em duas partes de 294m<sup>2</sup>, com cada metade contribuindo de forma independente para o volume captado. Em cada metade será feita a instalação de dispositivos de transporte (calhas e condutos verticais).



**Figura 13 - Fotografia do prédio que será utilizado para captação. Fonte: Autor.**

Outra informação essencial para a caracterização da superfície de captação é o *coeficiente de escoamento* que relaciona o volume de água escoado com o volume total precipitado. Este coeficiente é obtido em função do material da área de coleta. A Tabela 9 apresenta o coeficiente de escoamento para diferentes superfícies.

**Tabela 9 - Coeficiente de escoamento para cada tipo de superfície. Fonte: Baptista (2003) *apud*. Nez (2010).**

Características da superfície	Coeficiente de escoamento
<b>Telhados</b>	0,75 a 1,00
<b>Pavimentação asfáltica</b>	0,70 a 0,95
<b>Pavimentação com paralelepípedo</b>	0,70 a 0,85
<b>Pavimentação em concreto</b>	0,80 a 0,95
<b>Gramados – terrenos arenosos</b>	0,05 a 0,20
<b>Gramados – terrenos argilosos</b>	0,13 a 0,35

O telhado de captação para este projeto é constituído de alumínio. Em Cavalcanti (2010) discute-se o valor mais adequado para o

coeficiente de escoamento em telhados metálicos, concluindo que os valores mais adequados estão entre 0,90 e 0,98.

Neste trabalho será considerado um coeficiente de escoamento de 0,95, ou seja, 95% do volume precipitado é escoado.

### 6.2.3. Grades e dispositivos de descarte

Para a escolha do dispositivo de remoção de sólidos grosseiros, foi escolhido o modelo *grelha aquaplustyle flexível bco* (Figura 14). Esta grade é flexível, podendo ser instalada em qualquer ponto do tubo de queda a montante do dispositivo de descarte da primeira chuva. Este modelo foi escolhido devido ao fácil manuseio e simplicidade na sua reposição. O baixo custo de mercado torna viável a troca mensal deste dispositivo.

Como a área de captação será dividida em duas partes, estarão operando simultaneamente duas unidades deste dispositivo.



Figura 14 - Dispositivo de retenção de sólidos grosseiros. Fonte:

[www.balaroti.com.br](http://www.balaroti.com.br)

Para o descarte da primeira chuva foi escolhido o dispositivo *Downpipe First Flush Water Diverter* (Figura 15), com capacidade de controle automático do volume que será descartado. O dispositivo contém uma “bola de vedação” que após o enchimento do reservatório de descarte, direciona o fluxo para o reservatório de armazenamento da água pluvial. O reservatório de descarte também é esvaziado automaticamente devido a um dispositivo de controle de flux instalado no tubo de queda. A vantagem deste dispositivo é o funcionamento automático e a pouca necessidade de manutenção.

Assim como a grade de remoção de sólidos grosseiros, é necessária a operação simultânea de duas unidades deste dispositivo.





**Figura 15 - Dispositivo de descarte da água inicial indicado. Fonte: [www.harvesting.com.br](http://www.harvesting.com.br)**

#### **6.2.4. Dimensionamento preliminar de calhas e condutos verticais do sistema de captação de água de chuva**

Para o dimensionamento das calhas horizontais e condutos verticais, adotou-se um *Tempo de Retorno* de 2 anos, que normalmente é utilizado em projetos desta natureza. Com o *Tempo de Duração* da chuva de 5 minutos na Equação 1, obteve-se uma intensidade ( $i$ ) de 124,3 mm/h.

##### *Calhas horizontais:*

Aplicando a intensidade (obtida na Equação 1) na Equação 2, foi calculada uma vazão de pico ( $Q$ ) de 578,55 l/min para cada metade do telhado.

A partir da vazão de pico, as calhas horizontais foram dimensionadas com a Equação 3, de acordo com a escolha do material (que determina o coeficiente de rugosidade) e da declividade.

Para isso foram definidos 4 coeficientes de rugosidade (cuja correspondência com os materiais está na Tabela 7) e 4 declividades (m/m) para calcular diâmetros nominais referentes a todas combinações. Os coeficientes de rugosidade e declividades foram escolhidos em função de valores normalmente utilizados em sistemas da mesma natureza.

Os diâmetros nominais (em mm) calculados estão descritos na Tabela 10.

**Tabela 10 - Diâmetros nominais (mm) para combinações de material e declividade.**

	<b>n1 = 0,011</b>	<b>n2 = 0,012</b>	<b>n3 = 0,013</b>	<b>n4 = 0,015</b>
<b>i1 = 0,005</b>	175,3	181,1	186,6	196,9
<b>i2 = 0,01</b>	153,9	159,0	163,9	172,9
<b>i3 = 0,015</b>	142,7	147,4	151,9	160,3
<b>i4 = 0,02</b>	135,2	139,7	143,9	151,8

Desta forma, recomenda-se que sejam utilizadas calhas de material sintético (como por exemplo o PVC), com diâmetro de 150 mm, que por ter o mesmo diâmetro dos tubos de queda, reduzirá o custo com os dispositivos de conexão.

### *Condutos verticais:*

Convertendo a vazão de pico de l/min para l/s é obtido o valor de 9,64 l/s. Aplicando este valor na Tabela 11, obtém-se um conduto vertical com um diâmetro comercial de 150 mm.

## **6.2.5. Armazenamento e bombeamento da água**

A água coletada será armazenada em dois poços já existentes na empresa, identificados como *Poço 04* e *Poço 05*.

Estes poços fazem parte do conjunto de 5 poços localizados próximos às torres de resfriamento que serão utilizados para complementar o abastecimento da fábrica. Antes, os poços eram utilizados para o abastecimento de água, no entanto todos foram desativados e atualmente servem apenas para a drenagem de eventuais alagamentos que possam ocorrer no local. Com o aumento da demanda de água da fábrica eles foram considerados soluções para o abastecimento de água, sendo planejada a instalação de uma bomba em cada um dos 5 poços. Estes poços são revestidos lateralmente por uma camada de concreto e estão em contato com o lençol freático pela parte inferior do mesmo.

Os poços 04 e 05 foram escolhidos para o armazenamento da água pluvial por estarem localizados próximos a área de coleta e também para aproveitar as bombas que serão instaladas para bombear a

água do lençol freático. Como a demanda de água é muito superior a captação, a água pluvial armazenada nos poços estará em constante processo de bombeamento, impedindo que o nível d'água dos poços retorne naturalmente para o nível do lençol freático.

O Poço 04 (Figura 16) está localizado ao lado da área de captação enquanto que o Poço 05 está dentro do edifício cujo telhado será utilizado para captação da água da chuva.



**Figura 16 - Fotografia do poço 04. Fonte: Autor.**

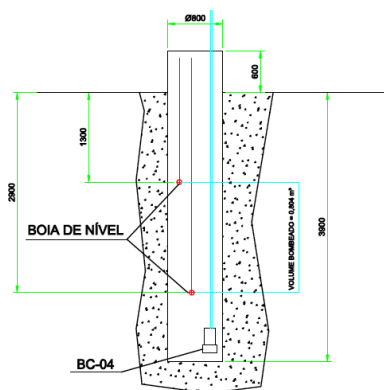
Observando as condições do Poço 04, é possível concluir que o local necessita de algumas alterações. Para preservar a qualidade da água é necessária a remoção de terra e pedras que atualmente estão dispostos ao lado do poço. Estes materiais podem escoar em dias chuvosos e aumentar a concentração de sólidos na água que será bombeada, também influenciando negativamente no funcionamento das bombas. A presença de rochas e outros materiais aumenta o risco para as tubulações e bombas que podem ser danificadas caso sejam atingidas por estes materiais.

Em cada um destes poços funcionará uma bomba, da marca Somar, modelo S-Sub 22-2 (Figura 17) com uma vazão máxima de 32 m<sup>3</sup>/h e potência de 2,2 kW.



**Figura 17 - Modelo da Bomba S-Sub 22-2. Fonte: Schulz S.A. 2012**

O funcionamento das bombas será controlado por dois sensores de nível. Quando o nível de água atingir o sensor de nível máximo, a bomba é acionada. O volume entre os sensores de níveis máximo e mínimo nos poços é de  $0,804\text{m}^3$  (Figura 18).



**Figura 18 - Dimensões dos poços 04 e 05. Fonte: Schulz (2012).**

#### 6.2.6. Avaliação da qualidade da água

Na Tabela 11 está exposta a média dos resultados obtidos nas duas amostras coletadas, os resultados da amostra da água que atualmente abastece as torres de resfriamento e os valores limites sugeridos por Trovati (2004).

**Tabela 11 - Comparação da qualidade da água da chuva com a água de abastecimento**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor médio medido no telhado</b>	<b>Valor medido na água utilizada nas torres atualmente</b>	<b>Valor sugerido por Trovati (2004)</b>
<b>Alcalinidade Total (mg/l)</b>	25,00	30,0	< 400
<b>Cloretos (mg/l)</b>	3,90	7,77	< 200
<b>Dureza (mg/l)</b>	14,00	34,0	< 400
<b>Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l)</b>	15,21	31,7	< 20

A água da chuva captada possui um padrão apropriado para todos os parâmetros analisados. Apenas os Sólidos Totais Dissolvidos apresenta um valor próximo ao limite estabelecido. Este problema é resolvido com a instalação do dispositivo de descarte da primeira chuva que é sugerido pela NBR 15.527. Não há necessidade de tratamento de outra natureza.

Para todos os parâmetros analisados, a água de chuva possui uma qualidade superior a água atualmente utilizada nas torres de resfriamento. Por este motivo a água pluvial não deverá influenciar negativamente no funcionamento das torres de resfriamento e nem causar danos às tubulações.

Água utilizada nas torres atualmente, fornecida pela rede pública, Águas de Joinville possui uma concentração de Sólidos Totais Dissolvidos acima do valor de referência. Este valor significa uma preocupação, pois uma alta taxa de Sólidos Totais Dissolvidos pode ocasionar a formação de incrustações nas torres de resfriamento, diminuindo assim a eficiência da mesma. Além disso, a concentração elevada de Sólidos Totais Dissolvidos pode ocasionar abrasão nos condutos de transporte de água reduzindo assim a sua vida útil. Para um diagnóstico deste problema é fundamental uma análise da água que está sendo fornecida a empresa e da água que está abastecendo as torres de resfriamento. Estas análises permitirão identificar se a água abastecida está com uma concentração elevada de sólidos ou se o armazenamento da água na empresa está causando o problema.

### **6.3. Custos do projeto piloto**

Os custos do sistema piloto foram divididos em custos iniciais que não serão ocorrentes, e custos de manutenção do sistema que se repetirão mensalmente

### 6.3.1. Custos iniciais

Para calcular os comprimentos das calhas horizontais e condutos verticais, foi consultada, respectivamente, a planta baixa e a altura do telhado. Foi consultado em uma loja de materiais de construção o valor de mercado das tubulações com os diâmetros e materiais determinados na seção 6.2.4.

Os valores de mercado da grade de remoção de sólidos grosseiros e dispositivo de descarte da primeira água foram consultados com os fabricantes. Neste trabalho não foi considerado o valor do transporte dos equipamentos e nem a mão de obra para instalação, por tratar-se de valores irrisórios em comparação com os outros custos.

O custo com as galerias enterradas para conduzir a água pluvial até os poços foi calculado por engenheiros civis da empresa.

A compilação valores dos custos iniciais está apresentada na Tabela 12.

**Tabela 12 - Custos iniciais da implantação do sistema.**

	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Total</b>
<b>Calhas</b>	03 metros	35,35	R\$ 66,15	R\$ 2.338,53
<b>Condutos verticais</b>	03 metros	6,3	R\$ 44,53	R\$ 280,54
<b>Grades</b>	unidade	02	R\$ 8,88	R\$ 17,76
<b>Dispositivo de descarte</b>	unidade	02	R\$ 177,00	R\$ 354,00
<b>Galerias</b>	-	-	-	R\$ 2.000,00
<b>TOTAL</b>				R\$ 4.990,83

O custo total para a implantação do sistema é de R\$ 4.990,83

### 6.3.2. Custos de manutenção

Os custos de manutenção são os gastos que serão recorrentes. Para a realização dos cálculos, foi considerado que os gastos serão constantes ao longo dos meses, a não ser o gasto com a energia elétrica para operação das bombas.

Para o cálculo da energia elétrica consumida pelas bombas, primeiramente foi preciso calcular o seu tempo de operação. Como o bombeamento é a única forma de transportar a água de chuva captada, o

tempo de bombeamento médio de cada bomba (Tabela 13) foi obtido a partir do volume captado médio em cada mês (Tabela 17). Para este cálculo utilizou-se a Equação 9:

$$\text{Tempo de bombeamento} = \text{Volume mensal} \div \text{Vazão máxima} \quad \text{Equação 9}$$

Para a realização dos cálculos considerou-se que as bombas funcionarão 100% do tempo na vazão máxima (32 m<sup>3</sup>/h cada bomba) e, conseqüentemente, potência máxima (2,2 kW cada bomba). Desta forma a energia calculada será igual à energia que realmente será consumida.

**Tabela 13 - Tempo de operação de cada bomba.**

<b>Mês</b>	<b>Tempo de funcionamento (h)</b>
<b>Janeiro</b>	20,34
<b>Fevereiro</b>	16,75
<b>Março</b>	14,84
<b>Abril</b>	6,98
<b>Mai</b>	6,68
<b>Junho</b>	6,10
<b>Julho</b>	7,33
<b>Agosto</b>	5,31
<b>Setembro</b>	10,43
<b>Outubro</b>	10,24
<b>Novembro</b>	9,68
<b>Dezembro</b>	11,20

O valor cobrado pela energia elétrica para indústrias de grande porte no município de Joinville é de aproximadamente 0,20 R\$/kWh, valor que será adotado para a realização dos cálculos. A partir do tempo de funcionamento das duas bombas, obtidos na Tabela 16 foi possível calcular a energia consumida e posteriormente o custo aproximado desta energia, apresentados na Tabela 14. O custo energético mensal para operação das duas bombas (totalizando uma potência de 4,4 kW) foi calculado utilizando-se a Equação 10.

$$\text{Custo energético} = 4,4 \text{ kW} * \text{Tempo de func.} * \text{R\$0,20} \quad \text{Equação 10}$$

Tabela 14 - Custo mensal com energia elétrica utilizada pelas bombas.

Mês	Energia consumida (kWh)	Custo energético (R\$)
<b>Janeiro</b>	20,34	17,90
<b>Fevereiro</b>	16,75	14,74
<b>Março</b>	14,84	13,06
<b>Abril</b>	6,98	6,14
<b>Mai</b>	6,68	5,88
<b>Junho</b>	6,10	5,37
<b>Julho</b>	7,33	6,45
<b>Agosto</b>	5,31	4,67
<b>Setembro</b>	10,43	9,18
<b>Outubro</b>	10,24	9,01
<b>Novembro</b>	9,68	8,52
<b>Dezembro</b>	11,20	9,86

Para monitorar a qualidade da água, será feita uma análise mensal da água dos poços. O valor da análise adotado foi o atualmente cobrado pela empresa que realiza o serviço.

Foi considerada a reposição mensal das grades de remoção dos sólidos grosseiros, totalizando duas trocas mensais. O custo estimado com a manutenção dos dispositivos foi obtido com engenheiros da empresa.

Na Tabela 15 são apresentados os custos para manter o sistema piloto de captação de água de chuva em funcionamento

Tabela 15–Custo com a manutenção do sistema piloto.

	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Total
<b>Grades</b>	unidade	02	R\$ 8,88	R\$ 17,76
<b>Análise da qual. da água</b>	unidade	01	R\$ 140,00	R\$ 140,00
<b>Consumo energia da bomba</b>	kWh	ver Tabela 17	R\$ 0,20	ver Tabela 17
<b>Manutenção (dispositivos e equipamentos)</b>	-	-	R\$ 100,00	R\$ 100,00



Com as informações obtidas está apresentado na Tabela 16 o custo de manutenção médio para cada mês.

**Tabela 16 - Custos mensais com a manutenção do sistema piloto**

<b>Mês</b>	<b>Custo com manutenção (R\$)</b>
<b>Janeiro</b>	275,66
<b>Fevereiro</b>	272,50
<b>Março</b>	270,82
<b>Abril</b>	263,90
<b>Mai</b>	263,64
<b>Junho</b>	263,13
<b>Julho</b>	264,21
<b>Agosto</b>	262,43
<b>Setembro</b>	266,94
<b>Outubro</b>	266,77
<b>Novembro</b>	266,28
<b>Dezembro</b>	267,62

## **6.4. Cálculo dos benefícios**

### **6.4.1. Cálculo do volume captado**

Para calcular os benefícios financeiros do sistema, primeiramente foram calculados os volumes captados em função da precipitação média mensal obtida na série histórica. O volume captado por mês é apresentado na Tabela 17.

**Tabela 17 - Volume captado no telhado do Refratário.**

<b>Mês</b>	<b>Volume Captado (m³)</b>
<b>Janeiro</b>	229,1
<b>Fevereiro</b>	188,7
<b>Março</b>	167,2
<b>Abril</b>	78,6
<b>Mai</b>	75,3
<b>Junho</b>	68,7
<b>Julho</b>	82,6
<b>Agosto</b>	59,8
<b>Setembro</b>	117,5
<b>Outubro</b>	115,4
<b>Novembro</b>	109,1
<b>Dezembro</b>	126,2
<b>Total</b>	<b>1.418,3</b>

Comparando os volumes captados com a demanda mensal das torres de resfriamento (3200 m<sup>3</sup>), é possível constatar que a contribuição do sistema piloto para o abastecimento de água será pequena, variando de 7,16% em janeiro a 1,87% no mês de agosto. No entanto a eficiência do sistema piloto deve incentivar a utilização de maiores áreas para captação de água da chuva resultando em volumes mais significativos.

#### 6.4.2. Valores financeiros equivalentes

O benefício gerado pela economia de água é calculado a partir dos volumes captados (Tabela 17) em cada mês. Foi revelado que a empresa Schulz S.A paga o valor de R\$ 5,68 pelo metro cúbico de água. Os valores da economia para cada mês estão apresentados na Tabela 18.

**Tabela 18 - Valores financeiros equivalentes do volume captado de água.**

<b>Mês</b>	<b>Economia (R\$)</b>
<b>Janeiro</b>	1.301,50
<b>Fevereiro</b>	1.071,79
<b>Março</b>	949,63
<b>Abril</b>	446,74
<b>Mai</b>	427,38
<b>Junho</b>	390,26
<b>Julho</b>	469,26
<b>Agosto</b>	339,81
<b>Setembro</b>	667,57
<b>Outubro</b>	655,19
<b>Novembro</b>	619,66
<b>Dezembro</b>	716,75
<b>Total</b>	<b>8.055,54</b>

Comparando os valores obtidos na Tabela 18 com os custos de manutenção (Tabela 16), é possível concluir que em todos os meses do ano o valor economizado com o menor uso da água da rede pública será superior aos gastos de manutenção do sistema. Portanto o benefício econômico gerado pela implantação do sistema aumentará com o passar do tempo.

#### 6.5. Análise do custo-benefício do projeto piloto

Considerando-se que o sistema comece a operar no início de Janeiro de 2013, foi utilizada a Equação 07 para calcular o saldo financeiro em cada mês resultante da implantação do projeto piloto. Os

resultados até o mês de dezembro de 2014 estão apresentados na Tabela 19.

**Tabela 19 - Saldo em cada mês devido ao projeto-piloto.**

<b>Mês</b>	<b>Saldo (R\$)</b>
<b>Janeiro/2013</b>	-3.964,99
<b>Fevereiro/2013</b>	-3.165,70
<b>Março/2013</b>	-2.486,88
<b>Abril/2013</b>	-2.304,05
<b>Mai/2013</b>	-2.140,30
<b>Junho/2013</b>	-2.013,17
<b>Julho/2013</b>	-1.808,12
<b>Agosto/2013</b>	-1.730,74
<b>Setembro/2013</b>	-1.330,11
<b>Outubro/2013</b>	-941,69
<b>Novembro/2013</b>	-588,31
<b>Dezembro/2013</b>	-139,18
<b>Janeiro/2014</b>	886,67
<b>Fevereiro/2014</b>	1.785,96
<b>Março/2014</b>	2.582,53
<b>Abril/2014</b>	3.023,13
<b>Mai/2014</b>	3.444,63
<b>Junho/2014</b>	3.829,53
<b>Julho/2014</b>	4.292,33
<b>Agosto/2014</b>	4.627,47
<b>Setembro/2014</b>	5.285,86
<b>Outubro/2014</b>	5.932,04
<b>Novembro/2014</b>	6.543,18
<b>Dezembro/2014</b>	7.250,08

Após o investimento inicial de R\$ 4.990,83 o sistema piloto terá um tempo de retorno financeiro de 1 ano.

## **6.6. Análise do potencial da empresa para captação de água de chuva**

Para a execução de futuros projetos de aproveitamento da água de chuva, estudou-se as condições atuais da empresa. Foram levantadas as outras áreas cobertas da empresa, a estrutura existente e demanda de água.

### 6.6.1. Caracterização da área de captação total da empresa

A partir de levantamentos previamente realizados por funcionários da empresa, obteve-se as áreas superficiais dos outros edifícios da empresa (Tabela 20). Não foram consideradas as vias internas da empresa.

**Tabela 20 - Áreas superficiais das coberturas da Schulz S.A. Fonte: Schulz (2012)**

Identificação	Área (m <sup>2</sup> )
<b>Prédio – Compressores</b>	22.060
<b>Prédio – Usinagem Automotiva</b>	9.701
<b>Prédio - Fundição</b>	13.431
<b>Prédio da Manutenção</b>	1.052
<b>Área de Apoio 01</b>	790
<b>Área de Apoio 02</b>	623
<b>Almoxarifado</b>	2.200
<b>Prédio da Informática</b>	190
<b>Total</b>	<b>50.047</b>

As coberturas apresentadas na Tabela 20 são de material metálico, porém como não foi verificado *in loco* o estado de conservação, será adotado um coeficiente de escoamento mais conservador em relação ao adotado para a área de captação do projeto piloto. O coeficiente de escoamento adotado para todas as áreas de captação foi de 0,75, limite inferior para telhados metálicos de acordo com a Tabela 9. Caso uma destas superfícies venha a ser utilizada para captação de água da chuva, será necessária uma melhor caracterização da área para determinar um coeficiente de escoamento mais preciso.

### 6.6.2. Demanda anual de água da Schulz

A partir de registros do Setor de Gestão Ambiental da empresa foi obtido o consumo de água geral da Schulz S.A. O período escolhido

foi entre Junho/2011 e Maio/2012, para observar o consumo em todos os meses. Na Tabela 21 foram levantados dados de consumo de água em cada área produtiva (compressores, usinagem e fundição) e em toda empresa. No consumo de água de toda a empresa, além das áreas produtivas, está incluso o consumo de outros setores, como o refeitório e prédios administrativos.

**Tabela 21 - Consumo de água na Schulz S.A. Fonte Schulz (2012)**

<b>Mês</b>	<b>Compressores (m³)</b>	<b>Usinagem (m³)</b>	<b>Fundição (m³)</b>	<b>Schulz S.A. (m³)</b>
<b>Junho/2011</b>	589	3.623	8.512	14.752
<b>Julho/2011</b>	594	3.928	8.125	13.557
<b>Agosto/2011</b>	686	3.505	8.874	14.903
<b>Setembro/2011</b>	642	4.032	8.316	14.207
<b>Outubro/2011</b>	645	4.132	8.708	14.684
<b>Novembro/2011</b>	690	4.755	9.068	15.125
<b>Dezembro/2011</b>	658	4.116	7.919	13.129
<b>Janeiro/2012</b>	608	3.409	8.379	12.915
<b>Fevereiro/2012</b>	676	5.613	7.569	14.740
<b>Março/2012</b>	563	5.617	9.670	17.159
<b>Abril/2012</b>	539	5.162	6.238	12.913
<b>Maio/2012</b>	626	5.428	9.880	17.155
<b>TOTAL</b>	<b>7.516</b>	<b>53.320</b>	<b>101.258</b>	<b>175.239</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>626,3</b>	<b>4.443,3</b>	<b>8.438,2</b>	<b>14.603</b>

A fundição é o setor de maior consumo de água da empresa, representando aproximadamente 58% do consumo. Além das torres de resfriamento, responsáveis por 38% do consumo da fundição, a lavagem de pátio e de peças representam o maiores consumos do setor. Estas atividades não demandam água potável.

Na Usinagem o consumo de água é devido principalmente à pintura das peças. A tinta presente nos tanques de pintura necessita ser trocada diversas vezes ao dia, demandando uma alta taxa de reposição da água de abastecimento. Além disso, nos finais de semanas é realizada a lavagem do tanque de pintura para que ele não fique saturado. A água atualmente utilizada para estas atividades é a água captada pela rede pública de abastecimento.

O setor de Compressores é a área produtiva com o menor consumo de água. Isto se deve ao fato do setor tratar-se de uma montadora de peças previamente fabricadas e de parte das máquinas fabricadas serem pintadas no setor da Usinagem. O consumo no setor se deve principalmente pela pintura de parte das máquinas e lavagem de pátios.

A demanda de água mensal está diretamente relacionada à produção dos setores da fábrica, sendo possível observar que nos meses de dezembro e janeiro o consumo de água é menor devido ao período de recesso dos trabalhadores.

### 6.6.3. Análise da estrutura existente

Foi verificado com engenheiros da empresa que todos os edifícios possuem dispositivos de escoamento da água pluvial, a não ser o prédio dos refratários (que será utilizado no sistema piloto) e o prédio da fundição. Atualmente toda a água pluvial é conduzida para galerias de drenagem sendo conduzidas para um corpo hídrico localizado ao lado da empresas.

Para cada grande área de captação, será necessária a instalação de novos reservatórios. No caso das coberturas com grande área superficial, deverão ser instalados reservatórios próximos aos principais pontos de consumo, para evitar a instalação de um reservatório muito grande e altos custos com o transporte da água pluvial captada. Um reservatório de grandes dimensões poderia inviabilizar a implantação do sistema pela dificuldade em alocá-lo em algum espaço físico vago na empresa. As grandes distâncias resultarão em um alto custo com tubulações e energia para bombeamento.

### 6.6.4. Volumes captados

Para o cálculo do volume potencial captado utilizando-se todas as áreas cobertas da empresa, foram utilizados os dados pluviométricos (Tabela 05) e áreas de captação (Tabela 20) aplicados na Equação 8. Os volumes captados nas 3 áreas produtivas (compressores, usinagem e fundição) e no restante da empresa estão apresentados na Tabela 22.

**Tabela 22 - Potenciais Volumes captados nas coberturas da Schulz S.A**

Mês	Compressores (m³)	Usinagem (m³)	Fundição (m³)	Schulz S.A. (m³)
<b>Janeiro</b>	6.787	2.985	4.132	15.398
<b>Fevereiro</b>	5.589	2.458	3.403	12.679
<b>Março</b>	4.953	2.178	3.015	11.236
<b>Abril</b>	2.329	1.024	1.418	5.284
<b>Mai</b>	2.229	980	1.357	5.058
<b>Junho</b>	2.035	895	1.239	4.617
<b>Julho</b>	2.447	1.076	1.490	5.552
<b>Agosto</b>	1.772	779	1.079	4.021

<b>Setembro</b>	3.481	1.531	2.119	7.897
<b>Outubro</b>	3.417	1.503	2.080	7.752
<b>Novembro</b>	3.231	1.421	1.967	7.329
<b>Dezembro</b>	3.737	1.643	2.275	8.478
<b>TOTAL</b>	<b>42.007</b>	<b>18.473</b>	<b>25.575</b>	<b>95.300</b>

O volume captado total anual representa mais da metade (aproximadamente 54%) do consumo total da empresa nos últimos 12 meses.

No setor de Compressores a água captada potencial é 6 vezes superior a demanda média. Portanto é possível utilizar apenas uma fração do telhado e ainda suprir toda a demanda de água. A alta oferta de água em relação ao consumo permite a utilização de um sistema de captação mais simples e com uma menor eficiência, mas com um menor custo.

Nos setores de grande consumo de água (usinagem e fundição) as coberturas próximas aos pontos de consumo tem o potencial de suprir aproximadamente 29% da demanda. A proximidade da área de captação com o ponto de utilização reduz os custos de tubulações e bombeamento para transportar a água.

#### **6.6.5 Análise preliminar do custo-benefício da implantação de um projeto de aproveitamento de água de chuva na Schulz S.A.**

Para o cálculo do benefício financeiro gerado pela implantação do sistema, foi calculado o custo equivalente que a empresa teria caso necessitasse obter o volume captado através do abastecimento da rede pública. O valor do metro cúbico de água adotado para o cálculo foi o atualmente utilizado (R\$ 5,68). O benefício financeiro está apresentado na Tabela 23.

**Tabela 23 - Valor equivalente do volume captado utilizando-se todas as áreas cobertas da Schulz S.A.**

<b>Mês</b>	<b>Valor equivalente (R\$)</b>
<b>Janeiro</b>	87.458
<b>Fevereiro</b>	72.015
<b>Março</b>	63.820
<b>Abril</b>	30.011
<b>Maio</b>	28.727
<b>Junho</b>	26.225
<b>Julho</b>	31.536
<b>Agosto</b>	22.837
<b>Setembro</b>	44.854
<b>Outubro</b>	44.033
<b>Novembro</b>	41.630
<b>Dezembro</b>	48.157
<b>TOTAL</b>	<b>541.302</b>

Para estimar os custos de implantação, foi consultado a monografiavde Souza (2005) que realizou um projeto preliminar para captação de água da chuva utilizando-se as áreas cobertas em toda Schulz S.A. Diferentemente do presente trabalho, Souza (2005) não considerou a captação no prédio da fundição assim como considerou a captação nas vias pavimentadas na empresa. O custo calculado da implantação foi de R\$ 180.352,02.

Devido às imprecisões por tratar-se de um projeto preliminar, a mudança dos preços entre 2005 e 2012 e a diferença entre as duas concepções (no presente trabalho está incluso o prédio da fundição e não estão inclusas as vias internas), o custo estimado em Souza (2005) não representa o custo real da utilização de todas as áreas de cobertura da Schulz S.A. No entanto o projeto preliminar permite uma análise da ordem de grandeza dos custos que serão necessários para utilização de todo o potencial de captação da água pluvial da Schulz S.A.

O benefício econômico após 1 ano, calculado na Tabela 23, é 3 vezes superior ao custo estimado. Isto demonstra que mesmo que o custo de implantação tenha sido subestimado em 50%, o projeto torna-se viável financeiramente. Portanto a Schulz S.A. tem o potencial de investir aproximadamente R\$ 500.000,00 ao longo de 1 ano para um projeto desta natureza.



### 6.7. Análise de períodos diários secos e chuvosos

A análise estatística da probabilidade de ocorrências de dias secos e chuvosos consecutivos auxiliará o planejamento da operação dos dispositivos, caso a empresa venha a depender da água pluvial para o seu abastecimento.

Após aplicação da Equação 05 e 06, foi calculada a probabilidade de ocorrência de  $k$  dias secos e chuvosos consecutivos, apresentados nas Tabelas 24 e 25 respectivamente.

**Tabela 24 - Probabilidade para  $k$  dias secos consecutivos**

Mês	k - número de dias secos consecutivos					
	1	2	3	4	5	6
<b>Jan</b>	0,255	0,031	0,004	0,000	0,000	0,000
<b>Fev</b>	0,257	0,027	0,003	0,000	0,000	0,000
<b>Mar</b>	0,339	0,062	0,011	0,002	0,000	0,000
<b>Abr</b>	0,473	0,136	0,039	0,011	0,003	0,001
<b>Mai</b>	0,587	0,242	0,100	0,041	0,017	0,007
<b>Jun</b>	0,602	0,263	0,115	0,050	0,022	0,010
<b>Jul</b>	0,538	0,192	0,069	0,024	0,009	0,003
<b>Ago</b>	0,617	0,293	0,139	0,066	0,031	0,015
<b>Set</b>	0,383	0,089	0,021	0,005	0,001	0,000
<b>Out</b>	0,348	0,068	0,013	0,003	0,000	0,000
<b>Nov</b>	0,408	0,096	0,023	0,005	0,001	0,000
<b>Dez</b>	0,394	0,098	0,024	0,006	0,002	0,000

**Tabela 25 - Probabilidade de k dias chuvosos consecutivos.**

<b>Mês</b>	<b>k - número de dias chuvosos consecutivos</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Jan</b>	0,745	0,458	0,282	0,173	0,106	0,065
<b>Fev</b>	0,743	0,443	0,264	0,157	0,093	0,056
<b>Mar</b>	0,661	0,345	0,180	0,094	0,049	0,026
<b>Abr</b>	0,527	0,189	0,068	0,024	0,009	0,003
<b>Mai</b>	0,413	0,106	0,027	0,007	0,002	0,000
<b>Jun</b>	0,398	0,096	0,023	0,006	0,001	0,000
<b>Jul</b>	0,462	0,132	0,038	0,011	0,003	0,001
<b>Ago</b>	0,383	0,097	0,025	0,006	0,002	0,000
<b>Set</b>	0,617	0,283	0,130	0,059	0,027	0,012
<b>Out</b>	0,652	0,338	0,175	0,091	0,047	0,024
<b>Nov</b>	0,592	0,252	0,107	0,045	0,019	0,008
<b>Dez</b>	0,606	0,280	0,130	0,060	0,028	0,013

Com os resultados obtidos é possível observar que o mês de Janeiro possui a maior probabilidade de ocorrência de um dia chuvoso na qual em média a cada 4 dias, 3 são chuvosos. O período mais chuvoso está entre os meses de setembro e abril. Nestes meses é necessária uma maior atenção em realizar a manutenção ou substituição da grade de remoção de sólidos e dispositivo de descarte da primeira chuva, pois eles serão mais utilizadas com a maior frequência de chuva.

Caso um reservatório armazene água pluvial e da rede pública, é importante que durante este período mais ele tenha um volume de armazenamento sobrando para que a água pluvial captada não seja excedente.

O período com o maior número de dias secos é entre maio e agosto. No monitoramento da qualidade da água, o período mais seco requer uma maior atenção, pois a falta de chuva permite o acúmulo de poluentes nas superfícies de captação.

Em Larsen & Pense (1982) relata-se que quando se sabe quais os períodos que serão secos ou que ocorrerão chuvas é possível planejar as obras evitando a deterioração de materiais expostos à precipitação ou que a mão de obra fique a esmo. Portanto o período mais indicado para as obras é entre os meses de maio e agosto.

Foi constatado que a maior sequência de dias secos foi de 21, entre julho e agosto de 2001, enquanto que a maior sequência de dias chuvosos foi 26 entre dezembro de 1994 e janeiro de 1995.

## 7. CONCLUSÃO

A escassez de recursos naturais está obrigando as indústrias a buscarem fontes alternativas e sustentáveis suprir a sua demanda. A análise custo benefício do projeto piloto demonstrou que o aproveitamento de água da chuva na Schulz S.A. é sustentável financeiramente, com um tempo de retorno de aproximadamente 1 ano.

Após análise da qualidade da água e comparação com padrões de uso estabelecidos por normas (EPA e ABNT) e trabalhos técnicos foi constatado que a água de captação possui condições de ser utilizada no sistema de torres de resfriamento sem influenciar a eficiência do sistema. No entanto para uma melhor caracterização da qualidade da água um maior número de análises deverá ser realizado. O projeto piloto gerará uma economia de abastecimento de água, gerando ganhos ambientais.

O principal ponto de melhoria do projeto piloto é a forma como será realizado o armazenamento inicial da água de chuva. Um poço não pode ser recarregado sem que ocorra um estudo prévio para determinar a influência da água de recarga no lençol freático. Além disso, a condição atual do Poço 04 poderá influenciar negativamente na qualidade da água que será posteriormente utilizada nas torres de resfriamento.

Os benefícios do projeto poderão estimular a implantação de projetos semelhantes em outros setores da empresa. Foi constatado um grande potencial da Schulz S.A para aproveitamento de água da chuva, devido principalmente às grandes áreas superficiais de seus telhados e à pouca demanda de água potável para as atividades industriais. Para a implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva em outros setores da empresa será necessário a instalação de novos dispositivos, como reservatórios e tubulações, para a operação do sistema. O benefício financeiro gerado pela redução da dependência do abastecimento via rede pública tornaria o projeto viável gerando vantagens para a empresa, mesmo com os altos custos de implantação.

Com uma maior utilização da água pluvial, seria interessante para a empresa um monitoramento mais amplo da qualidade pluvial além da instalação de pluviômetros para obter dados mais precisos de precipitação.

O estudo estatístico de dias secos e chuvosos demonstrou que a região da indústria possui uma alta frequência de chuvas, aumentando

assim a possibilidade de sucesso de sistemas de abastecimento que sejam dependentes da água pluvial captada.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/> >. Acesso em: maio de 2012.
- ANDRADE, A.R.S. *ET AL.* **Estudo do comportamento de períodos secos e chuvosos no município Garanhuns, PE, para fins de planejamento agrícola.** : Pesquisa Aplicada &Agrotecnologia. Garapuava , 2008.
- ANNECCHINI, K.P.V. **Aproveitamento da Água da Chuva para fins não potáveis na Cidade de Vitória (ES).** Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.844. **Instalações prediais de águas pluviais.** Rio de Janeiro, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.527. **Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos.** Rio de Janeiro , 2007.
- BACK, A. J. **Chuvas intensas e chuvas de projeto de drenagem superficial no estado de Santa Catarina.** Florianópolis: Epagri, 2002. 65 p.
- BALAROTI. Disponível em<[www.balaroti.com.br](http://www.balaroti.com.br)>. Acesso em 05 de junho de 2012.
- BENETTI, W.C; RAMOS, D.A. **Sistematização de dados pluviométricos para a região do município de Joinville/SC.** Campo Grande: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006.
- BERTOLO, E.J.P. **Aproveitamento da água da chuva em edificações.** Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos de grau de mestre em Engenharia do Ambiente. Universidade do Porto. Porto, 2006.

- CAVALCANTI, N.B. **Efeito do escoamento da água em chuvas de diferentes coberturas.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 4, p. 201-210, out. /dez. 2010.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY –EPA. **Guidelines for water reuse.** Washington (DC), USA, 1992.
- EVANS, C.A.; COOMBES, P.J.; DUNSTAN, R.H. **Wind, rain and bacteria: The effect of weather on the microbial composition of roof-harvested rainwater.** Water Research, 2006.
- FERNANDES, D.R.M; NETO, V.B.M; MATTOS, K.M.C. **Viabilidade econômica do uso da água da chuva: um estudo de caso da implantação de cisterna na UFRN/RN.** XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, PR. 2007.
- GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da Água de Chuva.** Editora Organic Trading, 1ª Edição. Curitiba, 2002.
- HAGEMANN, S.E. **Avaliação da Qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso.** Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Santa Maria, 2009.
- HARVESTING BRASIL. Disponível em <[www.harvesting.com](http://www.harvesting.com)>. Acesso em 08 de junho de 2012.
- JENSEN, M.A. **Feasibility of rainwater harvesting for urban Water Management in Salt Lake City.** Masters of Science in Civil Engineering. University of Utah. Salt Lake City, 2008.
- KOENIG, K. **Rainwater harvesting: public need or private pleasure?** Water 21. Londres, 2003.
- LARSEN, G. A; PENSE, R. B. **Stochastic simulation of daily climatic data for agronomic models.** Agronomy Journal, Madison, n. 74, p. 510-514, 1982.
- LIMA, R.P; MACHADO, T.G. **Aproveitamento de Água Pluvial: análise do custo de implantação do sistema em edificações.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil Ênfase

Ambiental. Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos. Barretos, 2008.

LOPES, F.H.Y. **Estudo Comparativo entre equações de chuva para o município de Joinville, SC.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Joinville, 2006.

MANCUSO, P.C.S. **Reuso de água para Torres de Resfriamento.** São Paulo, 2001.

MELO, L.R.C. **Variação da qualidade da água de chuva no início da precipitação.** Dissertação para obtenção de título de Mestre em Engenharia Sanitária. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.

NEZ, M.B. **Análise da viabilidade do aproveitamento da água pluvial em agroindústria. Estudo de Caso: Agrvêneto Indústria de Alimentos S.A.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental. Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Criciúma, 2010.

PETERS, M.R. **Potencialidade do uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2006.

PHILIPPI, L.S. *et al.* **Aproveitamento da água de chuva. Uso racional da água em edificações.** Rio de Janeiro, 2006.

ROBERTSON, G.W. **Dry and wet spells.** Project Field Report Agrometeorology A-6. UND/FAO Technical Assistance to the Federal Land Development Authority. Tun Razak Agriculture Research Center. Jerantut, Malaysia, 1976.

SANTOS, I.A. **Aproveitamento da água da chuva na Região do Alto Vale do Itajaí.** Monografia submetida ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental como parte dos requisitos para a obtenção de grau em especialista em Gestão de Recursos Hídricos. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 2006.



- SCHULZ S.A .Disponível na internet em <http://www.schulz.com.br>, acesso em Abril de 2012.
- SILVA, A.S; BRITO, L.T.L; ROCHA, H.M. **Captação e conservação de água de chuva no semi-árido brasileiro: Cisternas rurais – II Água para Consumo Humano**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Petrolina, PE. Fevereiro, 1988.
- SOUZA, E.E. **Proposta de um projeto para aproveitamento de águas pluviais na empresa Schulz S.A**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental - UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.
- SPX – COOLING TECHNOLOGIES.**Cooling Tower Fundamentals**. Second edition. Overland Park, Kansas, USA. 2009.
- TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD - TWDB. **The Texas Manual on Rainwater Harvesting**. Thirdedition. Austin, Texas. 2005.
- TOMAZ, P. **Aproveitamento da Água de Chuva**. Editora Navegar. São Paulo, 2003.
- TROVATI, J. **Curso On-line Tratamento de Água (Sistemas de Resfriamento)**. Araraquara, 2004.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. **Energy Efficiency Guide for Industry in Asia**. Disponível em <[www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org)> em 24 de Junho de 2012.
- WEIERBACHER, L. **Estudo de captação e aproveitamentode água da chuva na indústria moveleira Bento Móveis de Alvorada – RS**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, 2008.